

# **Sporttherapie bei Morbus Parkinson**

## **Der Einfluss von Nordic Walking Training auf die Symptomatik und körperliche Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Dr. phil.  
der Fakultät für Bildungswissenschaften  
der Universität Duisburg-Essen

vorgelegt von

SILVIA ROMBACH

geboren am 08.02.1972 in Bonndorf

Tag der Disputation: 13. Mai 2014

Erstgutachter: Prof. Dr. Ewald Hennig  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Stefan Grau

*Für meine großartige Familie*

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Parkinsonkrankheit . . . . .	1
1.2 Hauptziel . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Morbus Parkinson . . . . .	3
2.1.1 Geschichtlicher Überblick . . . . .	3
2.1.2 Begriffsbestimmung . . . . .	4
2.1.3 Symptombeschreibung . . . . .	4
2.1.4 Subtypeneinteilung und Stadieneinteilung . . . . .	6
2.1.5 Prävalenz und Inzidenz . . . . .	7
2.1.6 Diagnostik . . . . .	7
2.1.7 Die Organisation der Motorik . . . . .	9
<b>3 Stand der Forschung</b>	<b>12</b>
3.1 Sport und Gehirn . . . . .	12
3.2 Ansatzpunkte aus dem Tiermodell . . . . .	12
3.3 Leistungsdefizite bei Morbus Parkinson . . . . .	13
3.3.1 Motorik . . . . .	13
3.3.2 Beinkraft . . . . .	17
3.3.3 Kardiorespiratorische und metabolische Leistungsfähigkeit . . . . .	20
3.4 Sporttherapie bei Morbus Parkinson . . . . .	22
3.4.1 Laufbandtraining . . . . .	22
3.4.2 Krafttraining . . . . .	26
3.4.3 <i>Nordic Walking</i> Training . . . . .	27
3.4.4 Fahrradergometer . . . . .	28
3.5 Defizite bisheriger Trainingsstudien . . . . .	29
3.6 Fragestellung der Arbeit . . . . .	30

<b>4</b>	<b>Stichprobe und Methoden</b>	<b>32</b>
4.1	Studienablauf . . . . .	32
4.2	Stichprobe . . . . .	34
4.2.1	Fallzahlplanung . . . . .	34
4.2.2	Rekrutierung . . . . .	35
4.2.3	Stichprobe . . . . .	35
4.2.4	Ein- und Ausschlusskriterien . . . . .	36
4.2.5	Aufklärung und Einverständnis der Studienteilnehmer . . . . .	38
4.3	Trainingsmethode . . . . .	38
4.4	Messmethoden . . . . .	40
4.4.1	Erfassung des UPDRS Scores . . . . .	40
4.4.2	3D Kinematik . . . . .	41
4.4.3	Isokinetische Kraftmessung . . . . .	44
4.4.4	Leistungsdiagnostik . . . . .	48
4.5	Statistik . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>57</b>
5.1	Gesamtstichprobe . . . . .	57
5.2	UPDRS Score . . . . .	58
5.2.1	Stichprobe . . . . .	58
5.2.2	UPDRS Score . . . . .	58
5.3	3D Kinematik . . . . .	59
5.3.1	Stichprobe . . . . .	59
5.3.2	Gehen . . . . .	59
5.3.3	Aufstehen . . . . .	65
5.4	Isokinetische Kraftmessung . . . . .	74
5.4.1	Isometrie . . . . .	75
5.4.2	Konzentrik . . . . .	82
5.4.3	Exzentrik . . . . .	86
5.5	Leistungsdiagnostik . . . . .	94
5.5.1	Spiroergometrie . . . . .	94
5.5.2	Laktatanalyse . . . . .	105
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>118</b>
6.1	Methodenkritik . . . . .	118
6.1.1	Stichprobe . . . . .	118
6.1.2	Trainingsmethode . . . . .	121
6.1.3	Messmethoden . . . . .	121
6.1.4	Erfassung des UPDRS Scores . . . . .	121
6.1.5	3D Kinematik . . . . .	122
6.1.6	Isokinetische Kraftmessung . . . . .	123
6.1.7	Leistungsdiagnostik . . . . .	124

6.2	Fragestellungen . . . . .	125
6.2.1	Primärfrage 1 . . . . .	125
6.2.2	Primärfrage 2 . . . . .	126
6.2.3	Sekundärfrage . . . . .	133
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>136</b>
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>139</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>140</b>
<b>A</b>	<b>Anhang CRF</b>	<b>148</b>
<b>B</b>	<b>Anhang Plug-in-Gait Markerset</b>	<b>156</b>
<b>C</b>	<b>Anhang UPDRS</b>	<b>160</b>

# Tabellenverzeichnis

2.1	Modifizierte Stadieneinteilung des IPS nach Hoehn & Yahr (1967) [1] . . . . .	6
4.1	Dropout Liste . . . . .	35
4.2	Belastungsgefüge Intervalltraining <i>Nordic Walking</i> (NW) . . . . .	39
4.3	Messgröße UPDRS . . . . .	41
4.4	Messprotokoll 3D Kinematik . . . . .	43
4.5	Definition Messgrößen Aufstehen . . . . .	44
4.6	Berechnung kinematische Messgrößen . . . . .	45
4.7	Messprotokoll Isokinetische Kraftmessung Oberschenkelmuskulatur . . . . .	47
4.8	Berechnung isokinetische Messgrößen . . . . .	48
4.9	Messprotokoll Leistungsdiagnostik (Laufband: Gehen) . . . . .	51
4.10	Berechnung Messgrößen Leistungsdiagnostik . . . . .	52
4.11	Beispiel Ergebnistabelle . . . . .	56
5.1	Gesamtstichprobe . . . . .	57
5.2	Trainingseffekt <i>UPDRS</i> . . . . .	58
5.3	Trainingseffekte <i>Gehgeschwindigkeit</i> . . . . .	61
5.4	Trainingseffekte <i>Schrittlänge</i> . . . . .	63
5.5	Trainingseffekte <i>Schrittbreite</i> . . . . .	65
5.6	Trainingseffekte <i>Gesamtzeit</i> . . . . .	67
5.7	Trainingseffekte <i>Zeit Phase 2</i> . . . . .	68
5.8	Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal</i> . . . . .	70
5.9	Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal</i> . . . . .	72
5.10	Trainingseffekte <i>Maximaler Hüftbeugewinkel</i> . . . . .	74
5.11	<i>Dropout Liste Isokinetische Kraftmessung</i> . . . . .	75
5.12	Stichproben <i>Isometrische Kraftmessung</i> . . . . .	76
5.13	Stichproben <i>Konzentrische Kraftmessung</i> . . . . .	82
5.14	Stichproben <i>Exzentrische Kraftmessung</i> . . . . .	87
5.15	Trainingseffekte <i>Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur</i> . . . . .	93
5.16	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur</i> . . . . .	94
5.17	Trainingseffekte Beinseiten Patienten <i>Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur</i> . . . . .	95
5.18	Vergleich Trainingseffekte Beinseiten Patienten <i>Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur</i> . . . . .	96
5.19	<i>Dropout Liste Leistungsdiagnostik</i> . . . . .	96
5.20	Stichproben <i>Spiroergometrie</i> . . . . .	96
5.21	Trainingseffekte <i>Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	98

5.22	Trainingseffekte <i>Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	100
5.23	Trainingseffekte <i>Submaximale Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	101
5.24	Trainingseffekte <i>Atemäquivalent an vAT</i> . . . . .	103
5.25	Trainingseffekte <i>Gehökonomie Stufe 2</i> . . . . .	106
5.26	Trainingseffekte <i>Gehökonomie Stufe 3</i> . . . . .	107
5.27	<i>Dropout</i> Liste <i>Laktatanalyse an IAS</i> . . . . .	107
5.28	Stichproben <i>Laktatanalyse an IAS</i> . . . . .	107
5.29	Trainingseffekte <i>Relative Leistung an LT</i> . . . . .	109
5.30	Trainingseffekte <i>Relative Leistung an IAS</i> . . . . .	111
5.31	Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an LT</i> . . . . .	113
5.32	Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an IAS</i> . . . . .	114
5.33	Trainingseffekte <i>Laktat an IAS</i> . . . . .	116
6.1	Fallzahlberechnungen ( $\alpha=0,05$ ; $1-\beta=0,8$ ) . . . . .	119

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Charakteristische Körperhaltung bei Morbus Parkinson. Nach Gowers 1893 . . . . .	3
2.2	Altersbezogene Prävalenz des IPS (nach Mutch <i>et al.</i> 1986) [2][3] . . . . .	7
2.3	Synapsenaufbau . . . . .	10
2.4	Vereinfachte schematische Darstellung des motorischen Regelkreises bei Gesunden (links) und bei Parkinsonpatienten (rechts). [1] [3] . . . . .	11
4.1	Schematische Darstellung des Studiendesigns . . . . .	32
4.2	<i>Nordic Walking</i> Training . . . . .	38
4.3	Plug-In-Gait Markerset . . . . .	42
4.4	Isokinetische Kraftmessung . . . . .	47
4.5	Messung Leistungsdiagnostik . . . . .	50
4.6	Beispiel graphische Prüfung Normalverteilung mit dem „Normal Quantile Plot“ . . .	53
4.7	Graphisches Beispiel statistische Auswertung Trainingseffekt pro Gruppe . . . . .	54
4.8	Graphisches Beispiel statistische Auswertung Gruppenvergleich . . . . .	55
5.1	Trainingseffekt <i>UPDRS Motor Score</i> . . . . .	59
5.2	Trainingseffekte <i>Gehgeschwindigkeit</i> . . . . .	60
5.3	Vergleich Trainingseffekte <i>Gehgeschwindigkeit</i> . . . . .	60
5.4	Trainingseffekte <i>Schrittlänge</i> . . . . .	62
5.5	Vergleich Trainingseffekte <i>Schrittlänge</i> . . . . .	62
5.6	Trainingseffekte <i>Schrittweite</i> . . . . .	64
5.7	Vergleich Trainingseffekte <i>Schrittweite</i> . . . . .	64
5.8	Trainingseffekte <i>Gesamtzeit</i> . . . . .	66
5.9	Vergleich Trainingseffekte <i>Gesamtzeit</i> . . . . .	66
5.10	Trainingseffekte <i>Zeit Phase 2</i> . . . . .	67
5.11	Vergleich Trainingseffekte <i>Zeit Phase 2</i> . . . . .	68
5.12	Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal</i> . . . . .	69
5.13	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal</i>	70
5.14	Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal</i> . . . . .	71
5.15	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal</i> .	72
5.16	Trainingseffekte <i>Maximaler Hüftbeugewinkel</i> . . . . .	73
5.17	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximaler Hüftbeugewinkel</i> . . . . .	73
5.18	Unterschied <i>Maximalkraft Beinseiten</i> Patienten . . . . .	76
5.19	Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	77
5.20	Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	78



5.21	Vergleich Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	78
5.22	Vergleich Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	79
5.23	Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	80
5.24	Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	80
5.25	Vergleich Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	81
5.26	Vergleich Trainingseffekte <i>Isometrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	81
5.27	Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	83
5.28	Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	83
5.29	Vergleich Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	84
5.30	Vergleich Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	84
5.31	Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	85
5.32	Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	86
5.33	Vergleich Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	86
5.34	Vergleich Trainingseffekte <i>Konzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	87
5.35	Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	88
5.36	Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	89
5.37	Vergleich Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieextension</i> . . . . .	89
5.38	Vergleich Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> . . . . .	90
5.39	Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	90
5.40	Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	91
5.41	Vergleich Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieextension</i> Patienten . . . . .	92
5.42	Vergleich Trainingseffekte <i>Exzentrische Maximalkraft Knieflexion</i> Patienten . . . . .	92
5.43	Trainingseffekte <i>Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	97
5.44	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	98
5.45	Trainingseffekte <i>Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	99
5.46	Vergleich Trainingseffekte <i>Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	99
5.47	Trainingseffekte <i>Submaximale Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	100
5.48	Vergleich Trainingseffekte <i>Submaximale Sauerstoffaufnahme</i> . . . . .	101
5.49	Trainingseffekte <i>Atemäquivalent an vAT</i> . . . . .	102
5.50	Vergleich Trainingseffekte <i>Atemäquivalent an vAT</i> . . . . .	103
5.51	Trainingseffekte <i>Gehökonomie auf Stufe 2</i> . . . . .	104
5.52	Trainingseffekte <i>Gehökonomie auf Stufe 3</i> . . . . .	105
5.53	Vergleich Trainingseffekte <i>Gehökonomie auf Stufe 2</i> . . . . .	105
5.54	Vergleich Trainingseffekte <i>Gehökonomie auf Stufe 3</i> . . . . .	106
5.55	Trainingseffekte <i>Relative Leistung an LT</i> . . . . .	108
5.56	Vergleich Trainingseffekte <i>Relative Leistung an LT</i> . . . . .	109
5.57	Trainingseffekte <i>Relative Leistung an IAS</i> . . . . .	110
5.58	Vergleich Trainingseffekte <i>Relative Leistung an IAS</i> . . . . .	110
5.59	Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an LT</i> . . . . .	112
5.60	Vergleich Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an LT</i> . . . . .	112
5.61	Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an IAS</i> . . . . .	113
5.62	Vergleich Trainingseffekte <i>Herzfrequenz an IAS</i> . . . . .	114

5.63	Trainingseffekte <i>Laktat an IAS</i> . . . . .	115
5.64	Vergleich Trainingseffekte <i>Laktat an IAS</i> . . . . .	116

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ABC</b>	Activities-Specific Balance Confidence
<b>ASCII</b>	American Standard Code for Information Interchange
<b>BBS</b>	Berg Balance Scale
<b>bGAIT</b>	Schrittbreite
<b>Bsp.</b>	Beispiel
<b>ca.</b>	circa
<b>CGT</b>	Conventional Gait Therapy
<b>CHOkcal</b>	Kalorienmenge an Kohlenhydraten
<b>CHOrate</b>	Kohlenhydratrate
<b>CI</b>	Controll Intervention
<b>CRF</b>	Case Report Form
<b>CS-PFP</b>	Continuous-Scale Physical Functional Performance Test
<b>CV</b>	Coefficient of Variation
<b>CW-Doppler</b>	Continuous Wave Doppler
<b>d.h.</b>	das heißt
<b>EKG</b>	Elektrokardiographie
<b>et al.</b>	et alteri
<b>etc.</b>	et cetera
<b>ExzEx</b>	Exzentrische Extension (Streckung)
<b>ExzFlex</b>	Exzentrische Flexion (Beugung)
<b>FAP</b>	Functional Ambulation Performance
<b>FAR</b>	Functional Axial Rotation Test
<b>FATkcal</b>	Kalorienmenge an Fett
<b>FATrate</b>	Fettrate
<b>FE</b>	Forces Exercise
<b>FOG</b>	Freezing of Gait
<b>FRT</b>	Functional Reach Test
<b>GAITRite</b>	Ganganalysesystem
<b>Gesamtkcal</b>	Gesamtkalorienmenge
<b>H&amp;Y</b>	Hoehn & Yahr
<b>HF</b>	Herzfrequenz
<b>hipflex</b>	Hüftwinkel
<b>Hz</b>	Hertz, physikalische Einheit der Frequenz
<b>IAS</b>	Individuelle Anaerobe Schwelle

<b>ICC</b>	Intraclass Correlation Coefficient
<b>IPS</b>	Idiopathisches Parkinson Syndrom
<b>IsoEx</b>	Isometrische Extension
<b>IsoFlex</b>	Isometrische Flexion
<b>JMP</b>	Statistiksoftware
<b>KonzEx</b>	Konzentrische Extension
<b>KonzFlex</b>	Konzentrische Flexion
<b>L-Dopa</b>	Levodopa
<b>IGAIT</b>	Schrittlänge
<b>LOS</b>	Limits of Stability
<b>LSVTR</b>	BIG Lee Silverman Vice Treatment
<b>LTT</b>	Limited Progressive Treadmill Training
<b>LT</b>	Lactate Threshold
<b>MAO-B-Hemmer</b>	Monoaminoxidase-Hemmer
<b>max cog vel hor</b>	Maximale horizontale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes
<b>max cog vel ver</b>	Maximale vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes
<b>MET</b>	Metabolic Equivalent of Task
<b>MP</b>	Morbus Parkinson
<b>n</b>	Anzahl
<b>NT</b>	Nach Training
<b>NW</b>	Nordic Walking
<b>OLS</b>	One-Leg Stand
<b>PDQ-39</b>	Parkinson's Disease Questionnaire
<b>PS</b>	Parkinson-Syndrom
<b>PW-Doppler</b>	Pulsed Wave Doppler
<b>p-Wert</b>	Signifikanzwert
<b>rel.</b>	relativ
<b>RER</b>	Respiratory Exchange Ratio
<b>RG</b>	Rückwärtsgehen
<b>RQ</b>	Respiratorischer Quotient
<b>SOT</b>	Sensory Organization Test
<b>SPECT</b>	Single-Photon Emission Computed Tomography
<b>Stabw.</b>	Standardabweichung
<b>STS</b>	Sit-To-Stand
<b>STT</b>	Speed Dependend Treadmill Training
<b>TUG</b>	Timed Up and Go
<b>UPDRS</b>	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
<b>VE/VO2</b>	Atemäquivalent für Sauerstoff
<b>v. Chr.</b>	vor Christus
<b>vAT</b>	ventilatorische anaerobe Schwelle
<b>VCO2</b>	ventilatorische Kohlendioxidabgabe
<b>VCO2/VO2</b>	Quotient ventilatorische Kohlendioxidabgabe/ventilatorische Sauerstoffaufnahme

<b>VE</b>	Voluntary Exercise
<b>VE</b>	Atemminutenvolumen
<b>vergl.</b>	vergleiche
<b>VG</b>	Vorwärtsgehen
<b>vGAIT</b>	Gehgeschwindigkeit
<b>VO2</b>	ventilatorische Sauerstoffaufnahme
<b>VO2max</b>	maximale ventilatorische Sauerstoffaufnahme
<b>VO2peak</b>	maximal erreichte ventilatorische Sauerstoffaufnahme
<b>VO2peak/kg</b>	maximal erreichte ventilatorische Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm
<b>VT</b>	vor Training
<b>Wpeak</b>	maximal erreichte Watt Leistung
<b>z.B.</b>	zum Beispiel
<b>ZNS</b>	Zentrales Nervensystem
<b>1RM</b>	1 Repetition Maximum
<b>3D</b>	Dreidimensional

# 1 Einleitung

## 1.1 Parkinsonkrankheit

Morbus Parkinson (MP) (lat.: *Morbus* = Krankheit) bzw. auch als idiopathisches Parkinson-Syndrom (idiopathisch = ohne erkennbare Ursache entstanden) bezeichnet, ist neben der Alzheimer-Erkrankung die zweithäufigste neurodegenerative Erkrankung des fortgeschrittenen Lebensalters. Muskelsteifigkeit (Rigor), Bewegungsarmut (Akinese), Mangel an Willkür- und Reaktivbewegungen (Hypokinese), sowie Zittern (Tremor) sind die typischen Zeichen von Morbus Parkinson. Den Symptomen zugrunde liegend ist eine das ganze Gehirn betreffende Neurodegeneration, wobei der Untergang dopaminerger Neuronen im Bereich der *Substantia nigra* von zentraler Bedeutung ist. Es resultiert ein Mangel des Neurotransmitters Dopamin, der zu einer Fehlfunktion der Basalganglien führt und als Hauptursache der führenden Symptome Rigor und Akinese anzusehen ist. Der Regelkreis der Basalganglien ist maßgeblich an der Planung und Ausführung von Willkürbewegungen beteiligt. Durch das fehlende Dopamin kommt es zusätzlich zu einer Fehlregulation anderer Transmittersysteme, vor allem der glutamatergen und cholinergen Funktion, die zu weiteren Beeinträchtigungen (z.B. der vegetativen Funktionen) führt. [1] [3] [4]

Zu den zentralen motorischen Beeinträchtigungen beim idiopathischen Parkinson Syndrom gehören Veränderungen des Gangbildes mit vermindertem Mitschwingen der Arme, schlurfendem, kleinschrittigem langsamen Gang und zunehmender Stand- und Gangunsicherheit aufgrund der Reduktion posturaler Reflexe. Zudem besteht eine ausgeprägte Einschränkung der Feinmotorik. Der Muskeltonus ist pathologisch erhöht, so dass häufig eine vollständige Kraftentfaltung und große Bewegungsumfänge unmöglich sind. Die Bewegungsflüssigkeit und die Bewegungskoordination sind zusätzlich eingeschränkt. Durch diese motorischen Einschränkungen, aber auch durch zusätzliche Symptome wie Depression, Blasenstörungen, Kreislauf- und Schlafstörungen sind die Patienten in ihrer Alltagsfähigkeit deutlich eingeschränkt und weniger belastbar. [1] [3] [4]

Zentraler Bestandteil der Therapie dieser Erkrankung ist eine dopaminerge Medikation, die durch physiotherapeutische, ergotherapeutische und logopädische Behandlung ergänzt wird. Im Gegensatz zur wissenschaftlich gut fundierten, jedoch sehr kostenaufwändigen medikamentösen Behandlungstherapie liegt über den Einfluss von Sport- und Bewegungstherapie nur wenig gesichertes Wissen vor. Aus Kostengründen und aufgrund möglicher ganzheitlicher Beeinflussung von Sport auf die Parkinsonsymptomatik sollte im Bereich Sporttherapie bei Morbus Parkinson umfangreicher geforscht werden. Die Sporttherapie hat sich bereits in einigen chronischen Krankheiten wie die Koronare Herzerkrankungen, Schlaganfall, Diabetes *etc.* für sehr hilfreich und effektiv gezeigt. Im Krankheitsbild Morbus Parkinson besteht diesbezüglich jedoch noch viel Forschungsbedarf.

## 1.2 Hauptziel

Um die Wissenslücke von Sporttherapie bei MP etwas kleiner zu gestalten, haben sich drei Forschungsteams der Universität Tübingen zusammengefunden, um an einem gemeinsamen Projekt die Effekte von sporttherapeutischen Trainingsinterventionen bei Parkinsonpatienten zu untersuchen. Eine Zusammenarbeit erfolgte durch folgende Arbeitsbereiche: 1. Abteilung Sportmedizin der Medizinischen Klinik Tübingen, 2. Abteilung Klinische Neurodegeneration des Hertie-Institut für klinische Hirnforschung Tübingen und 3. Abteilung Kognitive Neurologie des Hertie-Instituts Tübingen. Dieser Zusammenschluss eröffnet eine umfangreiche, disziplinübergreifende Forschungsmöglichkeit, die nicht nur zum Wissen über Sporttherapie beim Krankheitsbild Parkinson beiträgt, sondern auch zu einem besseren Verständnis der Krankheit aus sportmedizinischer und neurologischer Sicht führt. Der vorliegenden Studie vorausgehend wurde eine Pilotstudie mit einer geringen Patientenzahl durchgeführt. Ziel der Pilotstudie war es, von drei Trainingsmethoden die vielversprechendste zu evaluieren und die Messmethoden zu validieren. In dieser Kleinstudie wurden drei im Trainingsgrundsatz unterschiedliche Sportinterventionen über einen Trainingszeitraum von 12 Wochen durchgeführt. Eine Gruppe trainierte die Ausdauersportart *Nordic Walking*, eine zweite Gruppe fachspezifisches Krafttraining an Kraftgeräten und eine dritte Gruppe trainierte nach einem neuromuskulären Ansatz Vibrationstraining auf einem Ganzkörpervibrationsgerät. Die Trainingseffekte wurden über verschiedene Messmethoden (identisch mit der vorliegenden Hauptstudie) innerhalb der Forschungsbereiche untersucht. Am vielversprechendsten in den Ergebnissen zeigte sich insgesamt das *Nordic Walking* Training, welches als Therapiewahl für die Hauptstudie definiert wurde.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit (Kapitel 2) wird zum besseren Verständnis das Krankheitsbild Morbus Parkinson in seiner Symptomatik aufgezeigt. Im weiteren Verlauf werden die Messskalen zur Beurteilung des Schweregrads der Parkinsonkrankheit, die Prävalenz und Insidenz, die Organisation der Motorik im Menschen und der Einfluß von Sporttherapie bei Morbus Parkinson dargestellt. Eine Vorstellung der aktuellen Literaturlage soll einen Einblick in den Stand der Forschung geben, woraufhin die konkreten Fragestellungen der Studie und die Hypothesen generiert werden (Kapitel 3). Kapitel 4 zeigt mit der Beschreibung der Studienpopulation, Studienverlauf, Messmethoden und der statistischen Auswertung das Forschungsdesign auf. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse der Untersuchungen ausführlich dargestellt (Kapitel 5). Eine Diskussion (Kapitel 6) bezüglich der Ergebnisse, Studienablauf, Methoden *etc.* soll die Studie insgesamt kritisch hinterfragen und abschließend soll eine kurze Zusammenfassung (Kapitel 7) den Inhalt der Dissertation wiedergeben. Als Abschluss werden die Gedanken für zukünftige Forschungsvorhaben dargelegt (Kapitel 8).

---

## 2 Grundlagen

### 2.1 Morbus Parkinson



Abbildung 2.1: Charakteristische Körperhaltung bei Morbus Parkinson. Nach Gowers 1893

#### 2.1.1 Geschichtlicher Überblick

Bereits 1000 - 1500 v. Chr. wurden in alten ayurvedischen Schriften auf Krankheitssymptome, wie das Zittern der Hände, körperliche Steifheit und Bewegungsarmut fragmentarisch hingewiesen. Auch finden sich in griechischen und römischen medizinischen Schriften aus dem 3. und 2. Jahrhundert v. Chr. Beschreibungen für das Tremorzeichen. [1] Dennoch hat erst der englische Arzt James Parkinson im Jahre 1817 das Krankheitsbild umfassend als einheitliches klinisches Bild in seiner berühmten Schrift „An Essay on the Shaking Palsy“ (eine Abhandlung über die Schüttellähmung) erläutert. [1] [2] Er



beschrieb darin zwei der drei Kardinalsymptome, das Ruhezittern (Tremor) und die Bewegungsarmut (Bradykinese). [2] Erst einige Jahre später wurde von dem französischen Psychiater Jean Marie Charcot das dritte Kernsymptom, die Muskelstarre (Rigor) beschrieben. [2]

Der heute gängige Name Parkinson-Krankheit („maladie de parkinson“) verwendete erstmals der französische Arzt Brissaud im Jahre 1895, womit der eher fälschliche Name Schüttellähmung ersetzt wurde. [1] Schließlich gelang es 1919 dem jungen Mediziner Tretiakoff durch neuropathologische Studien an Gehirnen von verstorbenen Parkinsonpatienten die Lokalisation der Störung zu finden, nämlich den Zelluntergang in der Substantia Nigra. [1] Anfang des 20. Jahrhunderts begann die medikamentöse Behandlung der Parkinsonkrankheit durch Ordenstein mit Extrakten der Tollkirsche, die der Hemmung der cholinergen Erregungsübertragung diene. [1] Einen großen Meilenstein in der Therapieentwicklung steuerten Ehringer und Hornykiewicz 1961 bei, durch ihre Erkenntnis über den Dopaminmangel als biochemisches Substrat der Parkinson-Krankheit, gefolgt von dem klinischen Einsatz von L-Dopa 1961 durch Birkmayer und Hornykiewicz. [1] Die zufällige Entdeckung der bewegungsfördernden Wirkung von Amantadin durch Schwab und seinen Mitarbeitern 1962, sowie die Einführung der Dopamin-Agonisten und der Einsatz von selektiven MAO-B-Hemmern (Monoaminoxidase-Hemmer) waren weitere bedeutende Schritte in der Parkinson Forschung. [1]

Seit Anfang der 1990er Jahren etablierte sich die Implantation von Hochfrequenzstimulatoren (Tiefenhirnstimulation) [5] bei medikamentös schwer behandelbaren Fällen. [1] Hier besteht weiterer Forschungsbedarf unter anderem in Bezug auf die optimale Lokalisation.[5] Ein neuer Ansatz ist die Stammzellenforschung, die das Ziel hat, Dopamin produzierende Zellen aus embryonalen oder adulten Stammzellen zu entwickeln. Dieser Forschungsbereich ist viel versprechend, befindet sich aber noch in einer frühen experimentellen Phase. [1] [5]

### 2.1.2 Begriffsbestimmung

Das Parkinson-Syndrom (PS) beschreibt eine Kombination von folgenden Symptomen: Rigor (Muskelsteifigkeit), Hypokinese (Bewegungsarmut), Tremor (Zittern), sowie vegetative und in den meisten Fällen auch psychische Begleiterscheinungen. [6] Die eigentliche Parkinson-Krankheit (Morbus Parkinson) bezeichnet man heute als idiopathisches Parkinson Syndrom (IPS) oder primäre Parkinson-Krankheit, da die Krankheitsursache nicht nachweisbar ist. [2]

Neben dem IPS gibt es auch Parkinson-Syndrome, deren Ursachen bekannt sind. Diese werden als sekundäre oder symptomatische Parkinson-Erkrankungen bezeichnet, [2] auf die im Rahmen dieser Dissertation nicht näher eingegangen wird.

### 2.1.3 Symptombeschreibung

Die Kardinalsymptome des IPS, die besonders die Motorik der Patienten beeinflussen sind Bradykinese, Rigor, Tremor und posturale Instabilität. [2] [1] Im Folgenden wird auf diese Symptome näher

---

eingegangen.

### 2.1.3.1 Bradykinese

Zusammengefasst bezeichnet die Bradykinese eine Verlangsamung und Verminderung willkürlicher und automatisierter Bewegungen. Differenzierter betrachtet wird zwischen der Akinese und der Hypokinese unterschieden. Die Akinese bezeichnet die vollständige Bewegungsunfähigkeit, die sich im Spätstadium der Krankheit durch so genannte akinetische Krisen äußert (plötzlich eintretender Zustand der völligen Bewegungsunfähigkeit). Die Hypokinese bezeichnet verminderte Bewegungsamplituden und verminderte Spontanbewegungen. Diese akinetische Symptomatik beeinträchtigt die Patienten nicht nur in ihrer gesamten motorischen Bewegungsfähigkeit, sondern kann auch die Funktionsfähigkeit der Gesichts- und Sprechmuskulatur einschränken. [1] [2]

### 2.1.3.2 Rigor

Der Rigor beschreibt eine erhöhte Muskelspannung, die durch Mitkontraktion der antagonistischen Muskulatur in jeder Bewegungsphase wie auch im Ruhezustand vorhanden ist. Er wird als Steifigkeit empfunden, verbunden mit Rückenschmerzen und ziehende Schmerzen im Arm-Schulter-Bereich. Daraus resultiert zum einen die typisch vorgebeugte Körperhaltung der Patienten. Zum anderen ist das verminderte Mitschwingen der Arme beim Gehen aus der Muskelsteifigkeit in der jeweiligen Muskulatur sichtbar (Rumpfheber, Schulter, Arme). [1] [2]

### 2.1.3.3 Tremor

Der Tremor ist im frühen Stadium der Krankheit eines der auffälligsten Symptome. Er äußert sich als unwillkürliche, rhythmische Bewegung von Körperteilen, meist an Händen oder Füßen. Er entsteht durch die alternierende oder synchrone Anspannung von Muskelpaaren, dabei wird der zunächst aktive Agonist von seinem Antagonisten in rhythmischer Folge abgelöst. Es wird zwischen dem Ruhetremor, dem Halte- und Aktionstremor, und der Kombination aus beiden unterschieden. Der Ruhetremor tritt bei 75% der Parkinsonpatienten bei völlig entspannter Muskulatur auf. [1] Der Halte- und Aktionstremor hingegen wird erst deutlich, wenn zum Beispiel die betroffene Hand eine Tasse oder Flasche zu halten versucht, beziehungsweise eine Bewegung ausgeführt wird. Besonders die alltäglichen feinmotorischen Funktionen werden durch den Halte- und Aktionstremor deutlich beeinträchtigt. [1]

---

### 2.1.3.4 Gang- und posturale Instabilität

Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, entwickelt sich bei den Patienten im Laufe der Erkrankung eine typische Körperhaltung. Der Oberkörper und der Kopf sind nach vorne geneigt, die Schultern fallen nach vorne, die Arme sind gebeugt und werden dicht am Rumpf gehalten. Zudem sind die Hände nach innen gebeugt und die Knie weisen eine ständige Beugung vor. Der Gang wird zusehends eingeschränkt, er wird kleinschrittiger, schlurfend, hinkend oder trippelnd mit erhöhtem Sturzrisiko. Es kann zu Startschwierigkeiten (Freezing) kommen, wobei der Patient durch kurze Trippelschritte das Gehen einzuleiten versucht. Das verminderte Mitschwingen der Arme beim Gehen ist besonders auf der von der Krankheit stärker betroffenen Seite sehr früh zu erkennen. [1] Außerdem führt die Kombination aus Rigor und verminderten gleichgewichtsregulierenden Reflexe zur posturalen Instabilität. Dies ist besonders bei passiven Stößen gegen den Körper folgenswer, da der Patient nicht in der Lage ist, rechtzeitig gegenzusteuern und er dadurch zu Stürzen neigt. [1] [2]

### 2.1.4 Subtypeneinteilung und Stadieneinteilung

Klinisch kann die Parkinsonkrankheit in drei Subtypen eingeteilt werden: Äquivalenz-Typ (Patienten, die sämtliche Kardinalsymptome aufweisen), Rigor-Akinese-Typ und Tremor-Dominanz-Typ. [1] [2] Für die Einteilung des Krankheitsstadiums ist die Einteilung nach Hoehn & Yahr weit verbreitet. Die Tabelle 2.1 zeigt eine modifizierte Stadienbestimmung nach Hoehn & Yahr. [1]

Stadium	Symptomatik
<b>1</b>	Symptomatik einseitig, keine oder nur geringe funktionelle Beeinträchtigung
<b>1,5</b>	Symptomatik einseitig, axial betont
<b>2</b>	Symptomatik beidseitig, keine Gleichgewichtsstörungen
<b>2,5</b>	Symptomatik beidseitig, Ausgleich bei Pulsionsprovokation
<b>3</b>	Erste Anzeichen gestörter Stellreflexe: Unsicherheit beim Umdrehen. Der Patient kann das Gleichgewicht nicht halten, wenn er, mit geschlossenen Beinen und geschlossenen Augen stehend, angestoßen wird. Der Patient ist funktionell eingeschränkt, ist aber (abhängig von der Art der Arbeit) noch teilweise arbeitsfähig. Der Patient kann sich selbst versorgen und unabhängig leben; die Behinderung ist schwach bis mäßig ausgeprägt.
<b>4</b>	Voll entwickelte, schwer beeinträchtigende Symptomatik; der Patient kann noch gehen und stehen, ist aber stark behindert.
<b>5</b>	Der Patient ist ohne Hilfe auf den Rollstuhl angewiesen oder bettlägerig.

Tabelle 2.1: Modifizierte Stadieneinteilung des IPS nach Hoehn & Yahr (1967) [1]

### 2.1.5 Prävalenz und Inzidenz

Die Zahl der an IPS erkrankten Menschen in Deutschland ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Wurde im Jahr 2002 von 150 000 bis 200 000 geschätzten Parkinsonpatienten ausgegangen,[1] waren es im Jahr 2004 ca. 200 000 bis 250 000 [3] und 2007 ca. 250 000 bis 400 000.[2] Ursächlich hierfür ist sicherlich die zunehmende Lebenserwartung der Menschen, da das IPS eine chronisch fortschreitende und alters-assoziierte Erkrankung ist, deren Manifestation meist im späteren Lebensalter erfolgt. [3] [2] [7] Jedoch erkranken nach Thümler 2002 ca. 10% der Parkinsonpatienten vor dem 40. Lebensjahr. Abbildung 2.2 zeigt die altersbezogene Prävalenz des IPS.

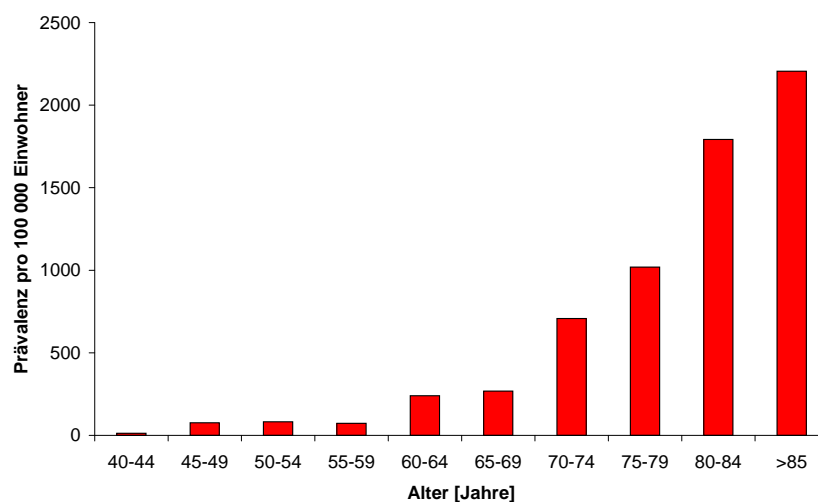


Abbildung 2.2: Altersbezogene Prävalenz des IPS (nach Mutch *et al.* 1986) [2][3]

Mit der zunehmenden Lebenserwartung der Menschen rechnet man in Deutschland mit einer Zunahme der Parkinsonpatienten um den Faktor 4.[8]

### 2.1.6 Diagnostik

Nach Ausschluss eines symptomatischen PS erfolgt die Diagnose des IPS überwiegend klinisch. [3] [9] [2] Demnach müssen neben dem Kardinalsymptom Bradykinese noch mindestens drei oder mehr der folgenden Kriterien der IPS vorhanden sein: [2]

- Kardinalsymptome

- Progressiver Verlauf
- Sehr gutes Ansprechen auf *L*-DOPA (in *ca.* 70-100 Prozent)
- *L*-DOPA-induzierte Dyskinesien und Wirkungsschwankungen
- Keine atypischen Zeichen

Neben der medizinischen Untersuchung zur Diagnostizierung des IPS inklusive Eigen- und Familienanamnese werden motorische Tests, medikamentöse Tests und differentialdiagnostische Verfahren angewendet. [3] Für weitere Ausführungen der medikamentösen und differentialdiagnostischen Testverfahren wird an dieser Stelle auf die Fachliteratur verwiesen. Die motorischen Tests untersuchen die alltagsrelevante motorische Beeinträchtigung der Patienten, insbesondere zum Zeitpunkt schlechter Beweglichkeit, der so genannten Off-Phase. Wesentlich sind hierbei vier motorische Merkmale:

### 1. Ganganalyse

Die Messgrößen der Gangbeurteilung (Ganganalyse) sind: [3]

- Ganggeschwindigkeit
- Veränderungen der Körperhaltung (aufrecht oder gebeugt)
- Ausmaß der Mitbewegung der Arme und des Rumpfes
- Seitenunterschiede bei der Mitbewegung
- Veränderungen der Schrittlänge (normal oder verkürzt)
- Unregelmäßigkeiten in der Schrittfolge (Nachziehen oder Hinken eines Beines)
- Ausmaß der Bewegungen in Hüft-, Knie- und Sprunggelenken
- Störungen bei Wendebewegungen (Pro- und Retropulsion)
- Freezing-Phänomene
- Stürze und Gangunsicherheiten

### 2. Handschrifttests

Motorische Symptome der Parkinson-Erkrankung zeigen sich in der Schriftprobe durch verlangsamte, verkleinerte und verzitterte Linienzüge [1].

### 3. Tapping-Tests

Durch Tapping-Tests werden Schwierigkeiten bei rasch wechselnden Bewegungsabläufen erkennbar, dazu werden Finger-, Hand- und Fuß-Tappings durchgeführt.

---

#### 4. Diadochokinese - Messungen

Die Diadochokinese bezeichnet die Fähigkeit, rasch aufeinander folgende Bewegungen, beispielsweise die Ein- und Auswärtsbewegung von Hand und Unterarm (Pro- und Supination) wiederholt auszuführen (Beispiel: das Wechseln einer Glühbirne). [1] [9]

Alle motorischen Tests verdeutlichen einseitige Verlangsamung, geringere Bewegungsamplituden und arhythmische Bewegungsausführung.[1]

### 2.1.7 Die Organisation der Motorik

Zum besseren Verständnis der klinischen Symptomatik der Parkinson Krankheit soll im Folgenden auf die anatomischen, physiologischen und biochemischen Grundlagen der Motorik in Zusammenhang mit der Parkinson Krankheit eingegangen werden. Bei näherem Interesse wird auf die ausführliche Fachliteratur verwiesen.

Die Organisation der Motorik ist sehr komplex. Wichtige Zentren für die Zielbewegung ist das Pyramidenbahnsystem (Willkürsystem) und ein motorischer Regelkreis, der als Basalgangliensystem (unwillkürliche, extrapyramidale System) zusammengefasst wird. Bei der Parkinson-Krankheit ist, anders als beim Schlaganfall, das Pyramidenbahnsystem nicht geschädigt. Wie der Name bereits sagt, laufen die motorischen Fasern des unwillkürlichen, extrapyramidalen Systems nicht durch die „Pyramiden“ (Nervenbahnen, die das Gehirn mit dem Rückenmark verbinden) und haben keine Rückenmarksverbindung. Für die Feinabstimmung von Bewegungen sind die Basalganglien ein wichtiges Bindeglied zwischen verknüpfenden (assoziatives Großhirn) und den motorischen Großhirnzellen. Die Basis motorischer Störungen bei der Parkinson-Krankheit sind Funktionsstörungen innerhalb der Regelkreise der Basalganglien. Gebildet werden die Basalganglien unter anderem durch das *Striatum*, die *Substantia nigra* und dem *Nucleus subthalamicus*. Neben der Steuerung der unwillkürlichen Muskelbewegungen ist das extrapyramidale System für die Steuerung des Muskeltonus und die Modifizierung der Willkürmotorik verantwortlich. [1] [4]

Zur Überleitung von Signalen von einem Neuron zum nächsten werden die elektrischen Impulse durch Neurotransmitter in der Kontaktstelle zweier Nervenfasern (Synapse) übertragen. Dabei spielt der Neurotransmitter Dopamin neben weiteren Neurotransmittern wie Azetylcholin und Glutamat eine entscheidende Rolle. Die Neurotransmitter wirken dabei entweder erregend oder hemmend, ihr Zusammenspiel entscheidet über die Erregungsweiterleitung. Eine Synapse besteht aus dem Endstück der ersten Nervenendigung (Präsynapse) und einer Empfangsregion der weiterleitenden Nervenzelle (Postsynapse), sowie dem sogenannten synaptischen Spalt dazwischen (siehe Abbildung 2.3). Bei einem elektrischen Impuls werden in Vesikeln (intrazelluläre Bläschen) Dopamin in den synaptischen Spalt abgegeben. Das Dopamin dockt an postsynaptischen Dopaminrezeptoren nach dem „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ an. Dieses Andockungssystem ist bei den Parkinsonpatienten funktionsfähig. Um die Ausschüttung von Dopamin zu regulieren, wird an speziellen Autorezeptoren der Präsynapse Dopamin gebunden. Das nicht benötigte Dopamin wird entweder in die Nervenzelle zurücktransportiert

oder abgebaut und ausgeschieden. Für die Erregungsweiterleitung muss eine bestimmte Dopamin-Schwellenkonzentration erreicht werden. Da es verschiedene Dopaminrezeptoren gibt und neben Dopamin noch andere Neurotransmitter, wie Acetylcholin, Glutamat,  $\gamma$ -Aminobutansäure, Serotonin, Noradrenalin, Substanz P, Enkephalin und Dynorphin an der Übertragung beteiligt sind, ist der genaue Übertragungsablauf, der für die Erregungsweiterleitung und die motorische Feinabstimmung der Bewegung verantwortlich ist, nicht bekannt.[1] [4] [3]

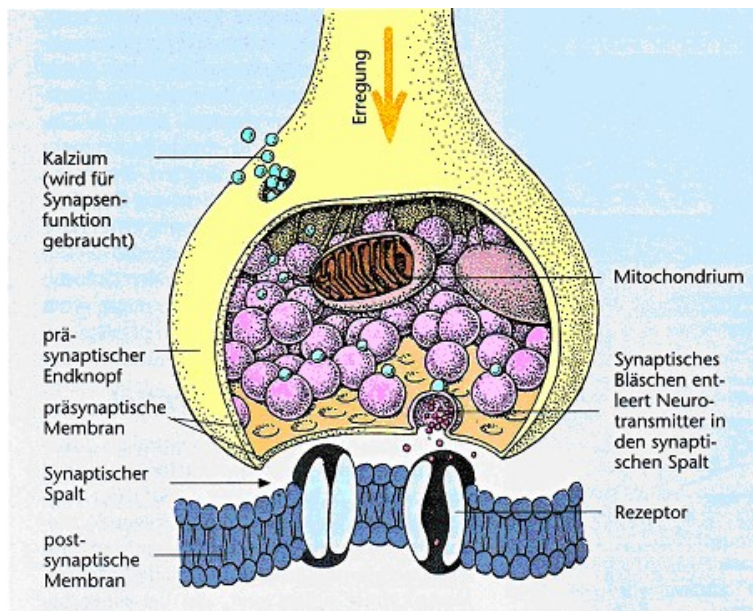


Abbildung 2.3: Synapsenaufbau  
[10]

Ein stark vereinfachtes Schema des motorischen Regelkreises soll grob die Physiologie der Kardinalsymptomatik des MP aufzeigen (siehe Abbildung 2.4). In einem normalen motorischen Regelkreis (linkes Bild) hemmt der *Globus pallidus internus* kontinuierlich den *Thalamus* und dessen thalamokortikale Projektion. Beim Parkinsonpatienten (rechtes Bild) führt der Verlust der dopaminhaltigen Fasern in der *Substantia nigra* zu einem Dopaminmangel im *Striatum*. Dadurch wird die Aktivität des inneren *Pallidums* (*Globus pallidus internus*) über direkte (*Striatum* - *Globus pallidus internus* - *Thalamus*) und indirekte (*Striatum* - *Globus pallidus externus* - *Nucleus subthalamicus* - *Globus pallidus internus* - *Thalamus*) Bahnen gesteigert. Der hemmende Einfluss auf den *Thalamus* wird dadurch verstärkt, womit es zu einer verminderten Erregungsleitung zum Großhirn kommt.[1] [3] Die Folge ist eine verminderte Bewegungsfähigkeit. Beim gesunden Menschen besteht zwischen den stimulierenden und hemmenden Systemen ein dynamisches Gleichgewicht, während dieses durch die geschädigten oder ausgefallenen dopaminergen Bahnen zwischen der *Substantia nigra* und dem *Striatum* beim Parkinsonpatienten gestört ist. Der Ausfall der dopaminergen Neurone führt im *Striatum* zu einem Überschuss an *Acetylcholin*, einem Neurotransmitter, dessen Überaktivierung für die Symptome Rigor und Tremor verantwortlich ist, während der Dopaminmangel vorwiegend die Bradykinese hervorrufen soll.[1]

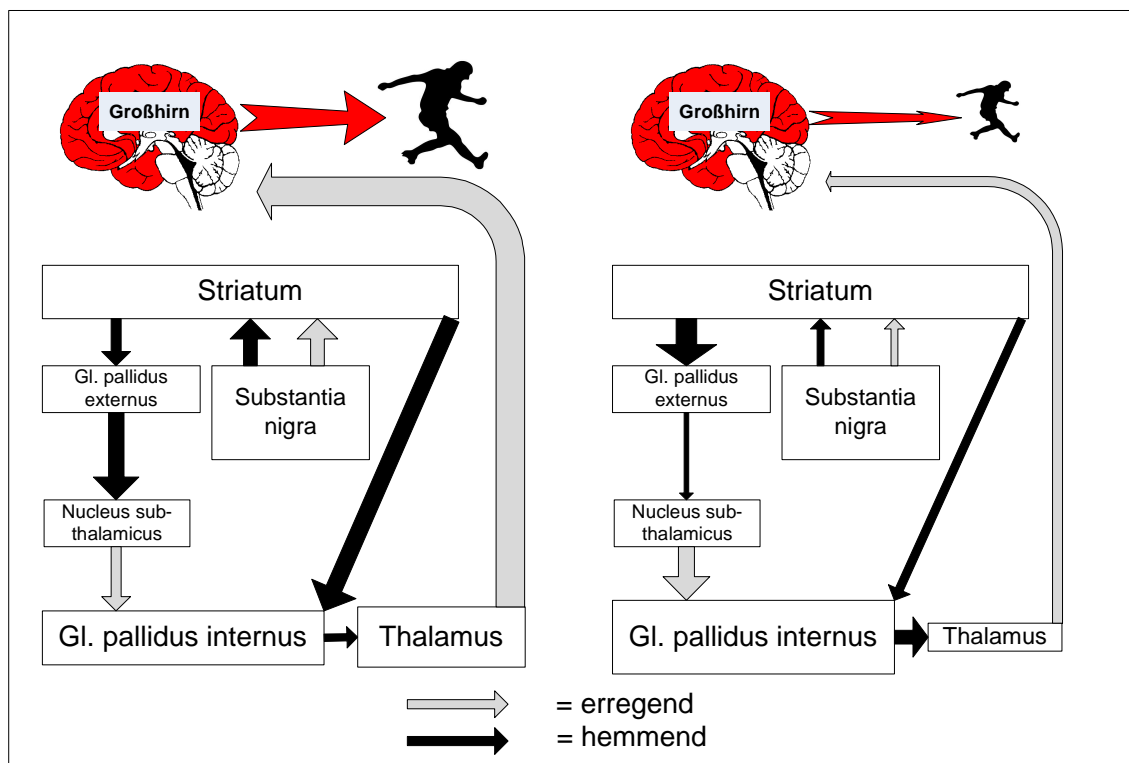


Abbildung 2.4: Vereinfachte schematische Darstellung des motorischen Regelkreises bei Gesunden (links) und bei Parkinsonpatienten (rechts). [1] [3]

In Kürze zusammengefasst liegt das neuropathologische Problem der Parkinson-Krankheit im Zelluntergang der *Substantia nigra* im Mittelhirn, dessen Ursache nicht bekannt ist. Das Absterben dieser dopaminhaltigen Fasern führt zur verminderten Konzentration von Dopamin an den Synapsen, womit folglich die Erregungsweiterleitung gehemmt ist. Folgeschwer ist für die Behandlung der Parkinson Krankheit die Tatsache, dass die ersten Symptome der Parkinson-Krankheit erst erkennbar sind, wenn 50 - 60% der striatonigralen Neuronen untergegangen sind.[1] [3] [4]



## 3 Stand der Forschung

### 3.1 Sport und Gehirn

Es gibt bisher keinen Nachweis, dass Bewegung und Sport das Absterben der Neuronen in der *Substantia nigra* verzögern oder verhindern können. [3] Doch es liegen Ansätze vor, die auf protektive Einflüsse durch körperlicher Aktivität hinweisen. [3] Demnach gilt das Gehirn als trainierbar, d. h. die Gehirnleistungsfähigkeit ist durch entsprechende Übungsreize steigerungsfähig. Trainiert werden können aber nur Gehirnbereiche, die durch das Training angesprochen werden. [11] Allerdings führt ein Reizrückgang ebenso zu einem Leistungsrückgang. [12] Den stärksten Anreiz zur Vermeidung von Zellverlusten bieten nach Hollmann & Strüder [13] die Motorik und die Sensorik. Nach Kubesch [14] werden durch körperliche Aktivität verschiedene Regionen im Gehirn stärker durchblutet, was zur verbesserten Sauerstoff- und Nährstoffversorgung führt und damit zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des neuronalen Netzwerkes. Da für die Synthese der Neurotransmitter im Gehirn Sauerstoff erforderlich ist, [15] führt körperliche Aktivität durch die dadurch verstärkte Durchblutung des Gehirns zu einem Anstieg von Dopamin, Noradrenalin und Serotonin in verschiedenen Gehirnkernen. [16] Nach Sasco *et al.* [17] steigt der Dopaminspiegel im gesamten Gehirn schon durch moderates Training an, so auch im Striatum. Dies kann sich positiv auf die Parkinson-Krankheit auswirken. [18] Ebenso löst eine gesteigerte Gehirndurchblutung nach Hollmann [16] auch eine lokal vermehrte Produktion von Nervenwachstumsstoffen aus, die den Erhalt, die Differenzierung und die Vermehrung von Neuronen günstig beeinflussen können. [19] [20] [21]

### 3.2 Ansatzpunkte aus dem Tiermodell

Ein paar wenige Forschergruppen haben sich mit Hilfe von Parkinson Tiermodellen (Mäuse oder Ratten) mit den Effekten von Sporttherapie auf das Krankheitsbild Morbus Parkinson auseinandergesetzt. Die toxin-induzierten Parkinson Tiermodelle wurden hierbei in den meisten Fällen einem Laufbandtraining vor, während und/oder nach der nigrostriatalen Schädigung der Tiere unterzogen. Dabei konnte beobachtet werden, dass motorische Defizite in den Parkinson-Tiermodellen, wie beispielsweise das Gangmuster und das Gleichgewicht durch ein regelmäßiges Laufbandtraining reduziert [22] [23] [24] oder sogar rückgängig gemacht werden können,[25]. Des Weiteren war es möglich, neurologische Defizite durch das Laufbandtraining zu verringern. [22]

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Döbrössy *et al.* [26], wie auch Smith und Zigmond. [23] Diese Forschergruppen konnten nach einem Motoriktraining vor, während und nach der nigrostriatalen Schädigung in den Parkinson-Tiermodellen motorische und neurologische Defizite reduzieren.

Ein ganz wichtiger Bereich der Untersuchungen mit Parkinson Tiermodellen ist der mögliche Nachweis von Neuroprotektion im Gehirn durch Sporttherapie. Diesbezüglich gibt es widersprüchliche Ergebnisse in der Tierforschung. Beispielsweise konnten Lau *et al.* [24] nach einem 18-wöchigen Laufbandtraining bei Parkinsonmäusen den Erhalt von dopaminerzeugenden Zellen im Gehirn nachweisen. Dahingegen konnte Al-Jarrah *et al.* [27] kein erhaltendes Potential zur nigrostriatalen dopaminergen Funktion nach einem 4-wöchigen Laufbandtraining in deren Tiermodellen finden. Auch Pothakos *et al.* [25] beobachteten keine Änderungen in den Bereichen neuronaler Verlust, kognitive Einschränkung, motorische Koordination und amphetamin-stimulierte Bewegungsaktivität.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse aus den Tierstudien viel verprechend. Insbesondere lassen die motorischen und neurologischen Defizite der Parkinson-Tiermodelle durch ein Laufband- oder Motoriktraining im Vergleich zu nichtakuten Parkinson-Tiermodellen deutliche Verbesserungen erkennen. Jedoch gibt es widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf die neuroprotektive Auswirkung von Sporttherapie im Parkinson-Tiermodell. Unterschiede in den Trainingsmethoden und Arten der nigrostriatalen Schädigung im Gehirn der Tiermodelle können dabei eine wichtige Rolle spielen.

### 3.3 Leistungsdefizite bei Morbus Parkinson

Um eine sporttherapeutische Interventionen speziell für das Krankheitsbild Morbus Parkinson definieren zu können, ist es erforderlich, die körperlichen Leistungsdefizite der Patienten zu kennen, um sie dann gegebenenfalls durch ein spezielles Training aufgreifen zu können. Der Schwerpunkt in der vorliegenden Literaturauswahl lag auf den motorischen Defiziten in Bezug auf die alltagsrelevanten Bewegungen Gehen und Aufstehen, der Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten und der ventilatorischen, sowie metabolischen Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

#### 3.3.1 Motorik

In einer Studie von Canning *et al.* [28] wurden 16 Parkinsonpatienten (H&Y 1 - 3) und 22 gesunde Kontrollpersonen mit Hilfe des 6-Minuten Gehtests, 8 m Gehtest (GAITRite) (3 Gehgeschwindigkeiten: selbst gewählt, mit kognitiver Zusatzaufgabe, so schnell wie möglich) und 360° Drehen im Stand auf die Gehleistung überprüft. Dabei erreichten die Patienten im 6-Minuten Gehtest neben einer statistisch signifikant niedrigeren Gehgeschwindigkeit eine geringere Schrittlänge im Vergleich zur Kontrollgruppe, das zu einer geringeren Gehdistanz führte. Der Belastungspuls und die Schrittfrequenz unterschieden sich dabei nicht. Ähnlich unterschied sich auch die selbst gewählte Gehgeschwindigkeit in den beiden Gruppen. Außerdem berichteten die Patienten im Gegensatz zur Kontrollgruppe

---

über einen deutlich höheren Grad an Beinmüdigkeit nach dem 6-Minuten Gehtest. Jedoch unterschieden sich die Patienten in der schnellen Gehgeschwindigkeit über 8 Meter nicht, was darauf schließen lässt, dass Patienten ähnliche Leistungen wie Gesunde aufbringen können, aber möglicherweise nicht auf Dauer beibehalten können.

Da Defizite beim Rückwärtsgehen bei Parkinsonpatienten oftmals die Ursache für Stürze sind, verglichen Hackney & Earhart [29] das Vorwärts- (VG) und das Rückwärtsgehen (RG) von 78 Patienten (H&Y 0,5 - 3) mit 74 gleichaltrigen gesunden Kontrollpersonen mit Hilfe der GAITRite Messtechnik. Die Patienten erreichten im VG im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch signifikant kürzere Schrittlängen, eine niedrigere prozentuale Schwungphase, eine höhere prozentuale Standphase und ein verringertes funktionelles Gangprofil (FAP - Functional Ambulation Performance). Jedoch konnte kein Unterschied in der Gehgeschwindigkeit beim VG beobachtet werden. Beide Gruppen gingen langsamer und breitschrittiger beim RG als beim VG. Die Patienten zeigten im RG im Vergleich zu den Kontrollpersonen kürzere Schrittlängen, niedrigere prozentuale Schwungphasen und höhere prozentuale Doppelstandphasen, sowie ein niedrigeres funktionelles Gangprofil. Die Forschergruppe schlussfolgerte aus ihren Ergebnissen, dass die Gehleistung bei Parkinsonpatienten vergleichsweise zu den gesunden Kontrollen im VG und RG verringert ist, aber dass diese Defizite im RG stärker ausgeprägt sind als beim VG.

Frenkel-Toledo *et al.* [30] untersuchten den Einfluss der Laufbandgeschwindigkeit auf die Gangvariabilität. 36 Parkinsonpatienten (H&Y 2 - 2,5) und 30 gesunde Kontrollpersonen gingen in vier Geschwindigkeiten auf dem Laufband (selbstgewählte Gehgeschwindigkeit, 80%, 90% und 110% der selbstgewählten Geschwindigkeit) und auf dem Boden mit und ohne Gehhilfe. Um das Gehen und die Gangvariabilität zu quantifizieren wurde ein computerunterstütztes Kraft-Sensor-System genutzt, bestehend aus Schuhen mit acht Kraftsensoren an den Sohlen. In den langsamen Geschwindigkeiten am Boden konnten in beiden Gruppen eine Verringerung der Schrittlänge und Erhöhungen in der Schrittzeit und Schrittzeitvariabilität beobachtet werden. In selbst gewählter Gehgeschwindigkeit zeigten die Patienten eine erhöhte Variabilität der Schrittzeit und der Schwungzeit im Vergleich zu den Gesunden, während beide Gruppen in den höheren Geschwindigkeiten verbesserte Schrittzeitvariabilität erzielten. Allerdings änderte sich die Schwungzeitvariabilität durch die Gehgeschwindigkeit weder am Boden noch auf dem Laufband. Die Gehhilfe hatte in beiden Gruppen keinen Effekt auf die beiden Variabilitäten. Das Laufband verbesserte in beiden Gruppen die Schrittzeit- und die Schwungzeitvariabilität.

In einer weiteren Laufbandstudie untersuchte das Forscherteam von Winogrodzka *et al.* [31] die Koordination von Arm- und Beinbewegungen von Parkinsonpatienten ( $n = 29$ , H&Y 1 - 2,5) während einer Laufbandeinheit mit einer stufenweiser Geschwindigkeitserhöhung. Zusätzlich wurde eine SPECT (Single-Photon Emission Computed Tomography) Untersuchung durchgeführt, um die Degeneration des Dopaminergen Systems zu bestimmen. Als Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die relative Phase zwischen den Arm-Beinbewegungen mit höherer Geschwindigkeit zunahm. Desweiteren legte eine Regressionsanalyse dar, dass die Rigidität, die Bradikinese und die Koordinationsmessungen positiv miteinander korrelieren, wie auch die Ergebnisse der SPECT Untersuchung mit den Koordinationsmessungen.

---

Das Studienteam von Mak *et al.* [32] untersuchten den Zusammenhang von Gangleistung und Selbstvertrauen im Gleichgewicht an 71 Parkinsonpatienten (H&Y im Durchschnitt 3) und 55 gesunden Kontrollpersonen. Evaluiert wurden die Probanden mit Hilfe des 6-Minuten Gehtests, einem Fragebogen zum Gleichgewichtselbstvertrauen (ABC-Activities-Specific Balance Confidence), dem UPDRS Motor Score (Unified Parkinson's Disease Rating Scale - Test zur Beurteilung der Schwere der Symptomatik) und einem händischen Dynamometer. Dieser diente zur Messung der Hüftbeuger- und der Kniestreckmuskulatur. Dabei erreichten die Patienten im Vergleich zur Kontrollgruppe eine statistisch signifikant verringerte Gehdistanz im Gehtest und niedrigere Maximalkraftwerte in der Hüftbeugung und Kniestreckung und ein statistisch signifikant niedrigeres Selbstvertrauen in ihr Gleichgewichtsvermögen. Eine Korrelationsanalyse zeigte eine positive Korrelation des 6-Minuten Gehtests zum ABC Score und zur Beinkraft, jedoch eine negative zum UPDRS Motor Score.

Um Referenzwerte für Parkinsonpatienten im 6-Minuten Gehtest zu erhalten, evaluierten Falvo *et al.* [33] 80 Patienten (H&Y 1 - 3) im 6-Minuten Gehtest, UPDRS, ABC Fragebogen, FOG (Freezing of Gait) Fragebogen, OLS (One-Leg Stance) und TUG. Im Ergebnis war die Gehdistanz sehr variabel (152,7 bis 613,6 m). Eine stufenweise Multiregressionsanalyse zeigte, dass TUG, OLS und Geschlecht statistisch signifikant unabhängige Faktoren des 6-Minuten Gehtests sind, die 56,6% der Variabilität erklärten.

In einer Analyse des gleichen Patientenpools von Falvo *et al.* [34] untersuchte das Forscherteam 75 Patienten (H&Y 0,5 - 3) zusätzlich mit dem BBS und einem Sturzfragebogen. Die Multiregressionsanalyse konnte statistisch signifikante Korrelationen des UPDRS, BBS und TUG mit dem 6-Minuten Gehtest zeigen. Ein zusätzliches hierarchisches Regressionsmodell konnte weiterhin belegen, dass die Variabilität des 6-Minuten Gehtests zu einem großen Anteil durch das Alter, dem Hoehn & Yahr Stadium und dem UPDRS Motor Score erklärt werden kann.

Die Forschergruppe von Shaw *et al.* [35] untersuchte den Einfluss von verbalen, aufgabengerichteten Anweisungen in zwei Gehgeschwindigkeiten (selbst gewählt und maximal) bei Parkinsonpatienten ( $n = 18$ ). Dazu gingen die Patienten in den beiden Gehgeschwindigkeiten einmal mit oder einmal ohne gehspezifische Anweisungen auf dem GAITRite. In der selbstgewählten Gehgeschwindigkeit profitierten die Patienten von der verbalen Unterstützung, sie erzielten eine höhere Gehgeschwindigkeit, länger Schrittlängen und mehr Oberkörperschwankungen. Jedoch verschlechterten sich die Leitsungsparameter in der maximalen Gehleistung durch die verbale Unterstützung, d.h. Gehgeschwindigkeit, Schrittlänge und Oberkörperschwankungen verringerten sich, verglichen mit dem schnellen Gehen ohne verbale aufgabengerichtete Anweisungen.

Bishop *et al.* [36] haben sich speziell mit dem *Aufstehen* bei Parkinsonpatienten befasst und rekrutierten 41 Patienten (H&Y 1 - 3). Untersucht wurde die Muskelaktivierung des *Tibialis anterior* und dem *Soleus* während dem Aufstehen aus dem Sitzen (STS - Sit-To-Stand) und die Kräfte (mit Hilfe einer Kraftmessplatte), die dabei auf die Sitzfläche wirken. Für die Datenanalyse wurden die Patienten in Abhängigkeit der Gesamtaufstehzeit der einzelnen Patienten in zwei Gruppen unterteilt: Die schnelleren Patienten bildeten Gruppe A, die langsameren die Gruppe B. Das Aufstehen wurde in 2 Phasen unterteilt, Phase I (Beugung - Momentum) startet mit der Initialbewegung zum Aufstehen und endet mit der maximalen horizontalen Bodenreaktionskraft, danach startet die Phase II (Transfer

- Momentum), die wiederum in der maximalen vertikalen Bodenreaktionskraft endet. Das Ergebnis zeigte, dass die Patienten der Gruppe B langsamer Kraft produzierten als die Patienten der Gruppe A. Des Weiteren wurde festgestellt, dass Gruppe B 64 % der Gesamtaufstehzeit für die Phase I benötigten, während Gruppe A nur 56% hierfür in Anspruch nahm. Außerdem zeigte die langsamere Gruppe eine höhere Anzahl an Kontraktionen zwischen den beiden gemessenen Muskelgruppen als die schnellere Gruppe.

Auch das Forscherteam Mak & Hui-Chan [37] untersuchte das *Aufstehen* in 20 Parkinsonpatienten und 20 gesunden Kontrollpersonen. Mit Hilfe einer 3D Kinematik Analyse und 2 Kraftmessplatten konnte das Forscherteam zeigen, dass Parkinsonpatienten im Vergleich zu Gesunden beim Aufstehen niedrigere vertikale und horizontale Geschwindigkeiten erzielten. Außerdem benötigten die Patienten für die Durchführung der einzelnen Phasen, sowie für die gesamte Bewegung mehr Zeit als Gesunde. Ebenso erreichte die Parkinsongruppe niedrigere Drehmomentwerte in der Hüftbeugung und der Dorsiflexion im Fußgelenk, und sie benötigten mehr Zeit zur Erreichung der maximalen Drehmomente beim Aufstehen als Gesunde. Neben den genannten Defiziten führten Mak & Hui-Chan das verlangsamte Aufstehen bei Parkinsonpatienten grundlegend darauf zurück, dass sie Schwierigkeiten bei der Änderung von Bewegungsrichtungen haben.

In einer Folgestudie verglich das Forscherteam Mak *et al.* [38] die Gelenkwinkelverläufe der unteren Extremitäten bei 7 Parkinsonpatienten und 6 gesunden Kontrollen während dem *Aufstehen*. Die Patienten zeigten ähnliche Kurvenverläufe, benötigen jedoch für die Bewegungsausführung mehr Zeit als Gesunde. Außerdem erzielten die Patienten, wie in der Studie davor, niedrigere Drehmomente in der Hüftbeugung und sie benötigten mehr Zeit zur Drehmomentproduktion. Die Langsamkeit in der Bewegungsausführung der Patienten könnte nach Mak *et al.* dadurch erklärt werden.

In einer Untersuchung mit neun gesunden Personen analysierte Schenkman *et al.* [39] das *Aufstehen von einem Stuhl* genauer. Als Ergebnis definierte die Forschergruppe 4 Phasen während dem *Aufstehen*: Phase I (*Flexion Momentum*) beginnt mit der Bewegung des Rumpfes nach vorne als Einleitung und endet mit dem Verlassen der Sitzfläche; Phase II (*Momentum Transfer*) beginnt mit dem Verlassen der Sitzfläche und endet mit maximaler Dorsalflexion des Sprunggelenks; Phase III (*Extension*) beginnt mit maximaler Dorsalflexion des Sprunggelenks und endet mit maximaler Körperstreckung, bzw. einer Winkelgeschwindigkeit im Hüftgelenk von 0°/s; und Phase IV (*Stabilisation*) beginnt bei vollständiger Körperstreckung und beinhaltet die normale Schwankung im Stand. Dabei hat die Phase I die Funktion, einen horizontalen Impuls nach vorne zu generieren und den Körperschwerpunkt nach vorne auf die Unterstützungsfläche der Füße zu verlagert. In Phase II wird der horizontal gerichtete Impuls des Oberkörpers in die vertikale Richtung umgewandelt, wobei der Körperschwerpunkt aus einer stabilen in eine instabile Position gebracht wird, was eine gute Gleichgewichtsfähigkeit und ausreichend Muskelkraft erfordert. Daher ist nach Schenkman *et al.* [39] und Galli *et al.* [40] die Phase II von besonderem Interesse. Insbesondere ist die Position des Oberkörpers zu den Füßen am Anfang der Phase II nach Schenkman *et al.* entscheidend für die Phasendauer. Beispielsweise benötigen Personen mit halbseitigen Lähmungserscheinungen für die Phase II die doppelte Zeit als Gesunde. [40] Mögliche Kompensationsmechanismen bewegungseingeschränkter Personen sind die Geschwindigkeit der Rumpfbewegung und der Neigungsgrad des Oberkörpers (Hüftwinkel). [39] In Phase III

---

wird die Körperaufrichtung zu Ende gebracht und Phase IV beschreibt die normale Körperschwankung im Stand, die aber nicht näher analysiert wurde. Dieses Phasenmodell für die Bewegungsaufgabe *Aufstehen* kann nach Schenkman *et al.* zur Hilfe genommen werden, um möglicherweise Bewegungseinschränkungen im *Aufstehen* besser identifizieren und interpretieren zu können. Da für viele Parkinsonpatienten das *Aufstehen* durch ihre Krankheit erschwert ist, soll dieses Analysemodell in der vorliegenden Dissertation zur Hilfe genommen werden, um das *Aufstehen* vielschichtiger analysieren zu können und mögliche Unterschiede zwischen Patienten und gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen erkennen zu können.

Zusammengefasst lassen die obigen Studien darauf schließen, dass Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen eine statistisch signifikant niedrigere Gehgeschwindigkeit und geringere Schrittlänge vorweisen und dadurch eine geringere Gehdistanz beim 6-Minuten Gehtest erzielen. [28] [32] Die Patienten haben außerdem im Vergleich zu gesunden Personen eine verringerte Schrittlänge beim Rückwärtsgehen, niedrigere prozentuale Schwungphasen und höhere prozentuale Doppelstandphasen. [29] Bei selbst gewählter Gehgeschwindigkeit zeigen die Patienten im Vergleich zu gesunden Personen eine erhöhte Variabilität in Schritt- und Schwungzeit. [30] Zudem nimmt die relative Phase zwischen den Arm- Beinbewegungen bei Patienten im frühen Stadium, wie bei nicht PD erkrankten Personen, mit zunehmender Geschwindigkeit zu. [31] Beim *Aufstehen* produzieren Parkinsonpatienten langsamer Kraft als gesunde Vergleichspersonen, [36] und erzielen niedrigere vertikale und horizontale Geschwindigkeiten. [37] Für die Gesamtbewegung, wie auch für die einzelnen Phasen des *Aufstehens*, benötigen die Patienten mehr Zeit als Gesunde. [37] [38] Sie erreichen außerdem niedrigere Drehmomente in der Hüftbeugung und benötigten mehr Zeit zur Drehmomentproduktion. [37] [38] Personen mit Bewegungseinschränkungen kompensieren das Aufstehen durch die Geschwindigkeit der Rumpfbewegungen und durch den Hüftwinkel beim Verlassen der Sitzfläche. [39]

### 3.3.2 Beinkraft

Die Forschergruppe von Allen *et al.* [41] untersuchte die Kraftfähigkeit der Beinstreckmuskulatur von 40 Parkinsonpatienten und 40 gesunden Kontrollpersonen mit Hilfe einer Beinpress-Maschine. Die Ergebnisse zeigten, dass Parkinsonpatienten im direkten Vergleich durchschnittlich 172 Newtons (N) weniger Kraft auf der Beinpresse bei 1 Repetition Maximum (1RM) produzieren können und dass auch bei Einbeintests beide Beine der Patienten schwächer sind als bei gesunden Kontrollen. Es wurde in beiden Gruppen zwischen dem schwächeren und dem stärkeren Bein unterschieden, wobei das Kraftdefizit der Patienten in beiden Beinen gleich hoch war. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich in der Beinstreck-Leistung (Watt).

In einer Studie von Inkster *et al.* [42] wurde bei 10 männlichen Parkinsonpatienten (H&Y 1 - 3) und 10 männlichen gesunden Personen die konzentrische Maximalkraft der Knie- und Hüftstreckmuskulatur an einem Isokinet analysiert. Ausserdem wurde der Zusammenhang zwischen Beinkraft und der Fähigkeit aufzustehen mit Hilfe des Sit-To-stand (STS) Tests in der *ON*- und *OFF*-Phase der Patienten untersucht. Es zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Beinseiten bei der gesunden

Vergleichsgruppe (dominantes und nicht-dominantes Bein) und der Patientengruppe (*mehr betroffenes* Bein und *weniger betroffenes* Bein), so dass die Ergebnisse für das dominante Bein der Gesunden und das *mehr betroffene* Bein der Patienten in der *ON*- und in der *OFF*-Phase evaluiert wurden. Die Patienten zeigten sich in beiden Streckmuskelgruppen in der Maximalkraftfähigkeit unterlegen. Die Hüftstreckmuskulatur der Patienten erreichte nur 70% und die Kniestreckmuskulatur erreichte 90% der Werte der Kontrollgruppe. In der Aufstehzeit gab es während der *ON*-Phase keine Gruppenunterschiede, jedoch standen die Patienten in der Off-Phase statistisch signifikant langsamer auf als in der *ON*-Phase. Zusätzlich fanden die Autoren bei den Patienten eine hohe Korrelation zwischen der Hüftkraft und der Aufstehzeit in beiden Phasen. Kein Zusammenhang wurde zur Kniekraft gefunden. Dagegen korrelierte bei den Gesunden die Kniekraft mittel mit der Aufstehzeit.

Die isometrische Kniestreckkraft wurde ebenfalls von Pääsuke *et al.* [43] bei weiblichen Parkinsonpatienten ( $n = 14$ , H&Y 1 - 3) und weiblichen gesunden Personen ( $n = 12$ ) mit Hilfe eines isometrischen Dynamometers überprüft. Dabei erreichten die Parkinson-Patientinnen eine niedrigere Reaktionszeit bis zur Kontraktion (Lichtsignal), eine niedrigere Maximalkraft in der isometrischen Kniestreckung und eine niedrigere Kraftentwicklungsrate als die gesunden Frauen. Allerdings unterschieden sich die beiden Gruppen in der maximalen Relativkraft der isometrischen Kniestrecker nicht. Ausserdem fanden die Autoren bei den Patientinnen eine höhere Aufstehzeit und eine niedrigere maximale vertikale Bodenreaktionskraft als bei den Teilnehmerinnen aus der Vergleichsgruppe.

In einer weiteren Studie der gleichen Forschergruppe [44] wurden die identischen Tests wie in der obigen Studie mit 12 Parkinson-Patientinnen (H&Y 1 - 3) und 16 gesunden weiblichen Kontrollpersonen durchgeführt. Als Ergebnis zeigten die Patientinnen eine niedrigere beidbeinige isometrische Maximalkraft der Kniestreckmuskulatur, auch relativiert auf das Körpergewicht und eine niedrigere Rate in der Maximalkraftentwicklung im Vergleich zu den Gesunden. Es konnte kein Beinkraftunterschied bei den Patientinnen (*mehr* versus *weniger betroffene*) und den Kontrollen (dominant versus nicht dominant) festgestellt werden. Ausserdem fanden die Autoren bei den Patientinnen eine statistisch signifikant längere Aufstehzeit und eine niedrigere Rate der vertikalen Bodenreaktionskraft beim Aufstehen.

Ein weiteres Messsystem für die isometrische Beinstreckkraft verwendete die Forschergruppe von Schilling *et al.* [45] Diese untersuchten 17 Parkinsonpatienten (H&Y 1,5 - 2,5) und 10 Gesunde mit Hilfe einer isometrischen Beinpresse, einem Gleichgewichtsfragebogen (ABC - Activities-specific Balance Confidence scale), Einbeinstand-Tests und dem TUG. Dabei ergaben sich bei den Patienten eine statistisch signifikant niedrigere isometrische Relativkraft in der Beinstreckmuskulatur, niedrigere ABC Werte und tendenziell länger Aufstehzeiten (TUG). Die maximale isometrische Relativkraft an der Beinpresse korrelierte bei den Patienten statistisch signifikant mit den TUG Zeiten.

Der Schwerpunkt der Forschergruppe von Nallegowda *et al.* [46] lag in der Untersuchung des Einflusses von Sensorik und Kraft auf Gleichgewicht, Gang und Körperhaltung. Sie untersuchten 30 Patienten (H&Y im Durchschnitt 2,7) und 30 gesunde Kontrollpersonen in den Bereichen isokinetische Maximalkraft (Fußgelenk, Hüftgelenk, Oberkörper in 90°/s, 120°/s und 150°/s), Gleichgewicht (SOT - Sensory Organization Test, LOS - Limits of Stability) auf einer Kraftmessplatte und Gehen (5 Meter Gehstest). Zwischen Parkinsonpatienten in der Off-Phase und gesunden Kontrollpersonen zeigten sich

statistisch signifikant schlechtere Ergebnisse im Gleichgewicht (LOT Tests, SOT Tests - z. B. Augengeschlossen, Sicht- und Untergrundbewegung, ect.) und in der Kraftfähigkeit aller untersuchten Gelenke. Mit Medikation verbesserten die Patienten ihre Kraftleistungen und ihre Gehgeschwindigkeit. In einer Korrelationsanalyse korrelierten die Muskelkraft (alle Gelenke), die Geh- und Bewegungsgeschwindigkeit bei den Patienten positiv, sowie die Fußgelenkkraft mit der Gehgeschwindigkeit in der *ON*- und *OFF*-Phase.

In einer weiteren Studie von Allen *et al.* [47] analysierten die Forscher den Zusammenhang zwischen der Beinstreckkraft, der Gangleistung und Stürzen bei Parkinsonpatienten, allerdings verzichteten sie auf eine gesunde Kontrollgruppe. Dazu führten die 40 Patienten (H&Y mild - moderat) folgende Tests durch: 10 m Gangtest, Krafttest an Beinpresse, UPDRS und Sturzfragebogen. Dabei zeigten die Patienten niedrigere Kraftwerte in der Beinstreckbewegung auf, verglichen mit Kraftwerten gleichaltriger gesunder Kontrollen (Ergebnisse aus einer anderen Studie der gleichen Autoren). Die Forschergruppe führten zusätzlich Uni- und Multivariate Analysen durch und kamen auf folgende Ergebnisse: Die Muskelkraft erklärt mehr als die Hälfte der Varianzen in der Ganggeschwindigkeit und sie steht statistisch signifikant mit der Ganggeschwindigkeit im Zusammenhang, wenn der UPDRS Score mit eingerechnet wird. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit bei Patienten mit niedriger Beinstreckkraft 6-Mal höher, Stürze zu berichten. Bei Einberechnung des UPDRS Scores konnte jedoch in diesem Fall keine statistische Signifikanz mehr gezeigt werden.

Die Forschergruppe Kakinuma *et al.* [48] konnte in einer etwas älteren Studie die konzentrische Maximalkraft bei Parkinsonpatienten untersuchen. Dazu führten 23 Parkinsonpatienten (H&Y 1 - 3) einen Krafttest am Isokineten für die Kniestreckung und -beugung in zwei Geschwindigkeiten (30°/s, 90°/s) durch. Die Gesamtgruppe wurde zur Auswertung nochmals geteilt in eine leicht (n = 11, H&Y 1) und eine moderat (n = 12, H&Y 2 - 3) betroffene Gruppe und der Fokus der Messung lag auf den Beinunterschieden. Es zeigte sich, dass in der Gesamtgruppe das *mehr betroffene* Bein in der Maximalkraft statistisch signifikant schwächer war als das *weniger betroffene*, sowohl in der Kniestreckung wie auch in der Kniebeugung in beiden Messgeschwindigkeiten. Wobei die Seitenunterschiede in der höheren Messgeschwindigkeit stärker waren als in der niedrigeren. Bei Betrachtung der beiden Gruppen spiegelte sich das Gesamtergebnis in der leicht betroffenen Gruppe wider, mit der Ausnahme, dass die Kraftunterschiede in beiden Testgeschwindigkeiten gleich waren. In der moderat betroffenen Gruppe konnte jedoch in der niedrigeren Testgeschwindigkeit (30°/s) kein Seitenunterschied in der konzentrischen Oberschenkelkraft nachgewiesen werden, während in der hohen Testgeschwindigkeit statistisch signifikant niedrigere Kraftwerte in dem *mehr betroffenen* Bein festgestellt werden konnte.

In einer zweiten Studie des gleichen Studienteams [49] konnten ähnliche Ergebnisse gezeigt werden. Es wurden 18 Parkinsonpatienten (H&Y 1 - 3) auf einem Isokineten untersucht, wobei wiederum Untergruppen entsprechend dem Hoehn & Yahr Stadium gebildet wurden (Gruppe 1: n = 5, H&Y 1; Gruppe 2: n = 7, H&Y 2; Gruppe 3: n = 6, H&Y 3). Die Testgeschwindigkeiten betrugen 30°/s, 90°/s und 180°/s. In der Gesamtgruppe war die Maximalkraft in der Kniestreckung und -beugung des mehr betroffenen Beines in den beiden hohen Testgeschwindigkeiten statistisch signifikant geringer als die Maximalkraft des *weniger betroffenen* Beins. Wobei in Testgeschwindigkeit 180°/s der Seitenunterschied größer war als in 90°/s. In der niedrigeren Geschwindigkeit von 30°/s konnten keine statistisch



signifikanten Seitenunterschiede gefunden werden. Bei der Betrachtung der Untergruppen konnten in Gruppe 1 keine Seitenunterschiede in allen drei Geschwindigkeiten gefunden werden, während die Gruppe 2 für die Kniestreckung keine Unterschiede in 30°/s, aber in 90°/s und 180°/s zeigte, und keine in der Knieflexion in allen Geschwindigkeiten. In Gruppe 3 konnten keine Beinkraftunterschiede in allen Geschwindigkeiten in der Kniestreckung und in 30°/s in der Flexion beobachtet werden. In der Knieflexion mit 90°/s und 180°/s zeigten sich jedoch Seitenunterschiede.

Zusammengefasst zeigen die obigen Studien, dass Parkinsonpatienten eine niedrigere Beinkraft aufweisen als gesunde Kontrollpersonen [41] [42] [43] [44] [45] und dass diese geringere Kraftleistung Auswirkungen auf das Aufstehen [42] [43] [44] [45] und auf das Gehen [47] bei Parkinsonpatienten haben. In Bezug auf Seitenunterschiede in der Oberschenkelkraft bei den Parkinsonpatienten sind sich die Autoren uneinig. Während manche Forschergruppen keine Beinkraftunterschiede fanden, [41] [42] [44] stellten einige statistisch signifikante Kraftdefizite in der Oberschenkelmuskulatur des *mehr betroffenen* Beins fest [48] [49]. Allerdings scheint der Seitenunterschied von der Bewegungsgeschwindigkeit und von dem Fortschritt der Krankheit abzuhängen. [48] [49]

### 3.3.3 Kardiorespiratorische und metabolische Leistungsfähigkeit

Die Unterschiede in der Gehökonomie zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Personen haben Christiansen *et al.* [50] mit Hilfe eines spiroergometrischen Laufbandtests an 90 Patienten (H&Y 1,5 - 3) und 44 gleichaltrigen Gesunden untersucht. Im Ruhezustand zeigte sich, dass der Puls, das Atemminutenvolumen (VE - minute ventilation) und das Atemäquivalent ( $VE/VO_2$ ) bei den Parkinsonpatienten statistisch signifikant höher war als bei den gesunden Personen. Ähnliches konnte in der Gehökonomie beobachtet werden: Der  $VO_2$  Anstieg in den Geschwindigkeitsstufen war bei den Patienten steiler als bei den Kontrollpersonen, was eine schlechtere Gehökonomie für die Patienten darstellt. Allerdings konnte kein Zusammenhang zwischen Alter, Geschlecht oder UPDRS Score zur  $VO_2$  bei den Patienten gefunden werden.

Auch die Forschergruppe Werner *et al.* [51] testete Patienten (n = 16, H&Y 2) und Gesunde (n = 11) auf dem Laufbandtest. Die Patienten wurden in 2 Gruppen geteilt: Gruppe 1, Patienten die 85% ihres altersgemäßen Zielpulses erreichten und Gruppe 2, Patienten die diesen nicht erreichten. Es wurde ein *Modified Bruce Protocol* mit maximal 5 Stufen mit jeweils 3 Minuten Dauer durchgeführt. Anstatt die  $VO_2$  zu erheben, nutzte die Forschergruppe die für das *Modified Bruce Protocol* vorkalkulierten MET Stufen als Maß der Leistungsintensität. Der Puls von allen drei Gruppen unterschied sich submaximal nicht. Allerdings konnte in der Maximalleistung ein statistisch signifikant niedrigerer Puls in Gruppe 2 beobachtet werden, während Gruppe 1 und Gesunde sich nicht unterschieden. Bei der Gruppe 1 und der gesunden Kontrollgruppe stieg der Blutdruck von der submaximalen zur maximalen Leistung statistisch signifikant an, jedoch blieb der Blutdruck in Gruppe 2 auf gleichem Niveau. Dies ist ein Hinweis auf eine abnormale kardiovaskuläre Reaktion in Gruppe 2.

Einige Studien untersuchten die Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten im Vergleich zu Gesunden auf dem Fahrradergometer. [52] [53] [54] Haas *et al.* [52] prüften dabei Atemmuskulatur, Bartel

*Index* (Alltagsfunktion), modifizierter *Baecke Activity Questionnaire* (Fragebogen zur körperlichen Aktivität), PDQ, und mit Hilfe eines submaximalen Fahrradergometertest Maximalpuls,  $VO_{2peak}$ , Laktatschwelle und die Anzahl der vollendeten Stufen während einem Stufenfahrradergometertest (als Maß der Leistungskapazität) bei 66 Patienten (H&Y 1 - 3) und 32 gesunde Kontrollpersonen. Als Ergebnis konnte in der Patientengruppe eine statistisch signifikant niedrigere Atemmuskularkraft (über die Mundpresskraft dargestellt) im Vergleich zu der Kontrollgruppe beobachtet werden. Die niedrige Atemmuskularkraft korrelierte auf der einen Seite negativ mit dem Hoehn & Yahr Stadium, auf der anderen Seite jedoch positiv mit der Laktatschwelle und der Anzahl der vollendeten Stufen auf dem Fahrradergometertest. Dies hatte aber keinen Einfluss auf die Alltagsfunktion, körperliche Aktivität und Lebensqualität der Patienten.

Protas *et al.* [53] analysierte die Kapazitäten der oberen und unteren Extremitäten mit einem spiroergometrischen Fahrrad- und Armtest in acht männlichen Parkinsonpatienten (H&Y 2 - 3) und sieben männlichen gesunden Kontrollpersonen. Während dem Fahrradstufentest wurde die Leistung alle 2 Minuten um 20 Watt erhöht, während dem Armtest die Leistung alle 2 Minuten um 10 Watt gesteigert wurde, in beiden Fällen bis zur Maximalbelastung. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen in  $VO_{2peak}$ , Maximalpuls oder  $VCO_2/VO_2$  (RER - Respiratory exchange ratio) in beiden Tests beobachtet. Im Vergleich zwischen Arm- und Fahrradtest war in beiden Gruppen das  $VO_{2peak}$  beim Armtest statistisch signifikant niedriger als beim Fahrradtest. Der submaximale Puls und die submaximale  $VO_2$  Aufnahme war statistisch signifikant höher als die der Gesunden.

In einer weiteren Studie des gleichen Forscherteams [54] führten 20 Parkinsonpatienten (H&Y 2 - 3) und 23 gesunde Kontrollpersonen ebenfalls ein Ausbelastungstest auf dem Fahrradergometer durch. Die Stufendauer lag bei 2 Minuten mit einer Leistungssteigerung von 20 Watt pro Stufe. Es wurde die  $VO_{2max}$  und die maximale Testdauer untersucht. Als Ergebnis konnten in der  $VO_{2max}$  keine Unterschiede zwischen den Patienten und den Gesunden beobachtet werden. Allerdings zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der maximalen Testdauer bei der Einzelbetrachtung der Männer, die Patienten erreichten ihre Leistungsgrenze früher als die gesunden Vergleichspersonen.

Auch Canning *et al.* [55] testeten bei Parkinsonpatienten die Leistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer. Die 16 Patienten (H&Y 1 - 3) führten neben dem Maximaltest auf dem Fahrradergometer Lungenfunktionstests und einen 10 m Gehtest durch. Im Vergleich zu Normwerten gesunder Personen konnten keine Unterschiede zwischen den  $VO_{2peak}$  und  $W_{peak}$  (maximale Watt Leistung) bei den Patienten festgestellt werden. Körperlich inaktive Patienten erreichten niedrigere  $VO_{2peak}$  Werte als aktive, während die Krankheitsdauer keinen Einfluss auf die  $VO_{2peak}$  Werte hatte. Der Gehtest legte dar, dass Patienten in der selbst gewählten Gehgeschwindigkeit keine Unterschiede zu den Normwerten gesunder Kontrollen aufweisen, allerdings überstiegen die Werte der schnellen Gehgeschwindigkeit statistisch signifikant die Normwerte. Ähnliche Ergebnisse erzielten die Patienten in der Schrittfrequenz, während die Schrittlänge im Mittel in beiden Testgeschwindigkeiten statistisch signifikant unter dem Normwert blieb. Laut Canning *et al.* zeigten die Ergebnisse der Lungenfunktionstest typische Defizite der Parkinsonpatienten auf.

Zusammengefasst weisen die obigen Ergebnisse auf eine schlechtere Gehökonomie [50], einen niedrigeren Puls und Blutdruck [51], sowie auf eine höhere Atemfrequenz von Parkinsonpatienten im Ver-

gleich zu Gesunden hin, getestet auf einem maximalen Laufbandergometertest. [50] Jedoch konnten submaximal keine Unterschiede in Puls und Blutdruck zwischen Patienten und Gesunden beobachtet werden. [51] Im Gegensatz dazu zeigten die Patienten auf dem Fahrradergometertest submaximal höhere Puls- und  $VO_2$  Werte als Gesunde, [53] und maximal keine Leistungsunterschiede [53] [54] [55], jedoch eine niedrigere Atemmuskelkraft. [52] [55]

## 3.4 Sporttherapie bei Morbus Parkinson

Das nachfolgende Kapitel soll einen Einblick in die aktuelle Literaturlage über Trainingsstudien mit Parkinsonpatienten geben. Die ausgewählte Literatur beschränkt sich auf Trainingsstudien mit sporttherapeutischem Ansatz. Auf Studien mit einem bewegungstherapeutischen Ansatz, wie beispielsweise der Physiotherapie, wurde aufgrund der Literaturfülle mit den nur schwer miteinander vergleichbaren Therapiekonzepten verzichtet.

### 3.4.1 Laufbandtraining

In den meisten sporttherapeutischen Trainingsstudien mit Parkinsonpatienten wurde das Laufband als Trainingsgerät gewählt. In diesen Laufbandstudien trainierten die Probanden drei Mal pro Woche mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten. [18] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] Eine Ausnahme ist die Studie von Herman *et al.*, in der die Zahl der Trainingseinheiten pro Woche bei vier liegt. [67]

In drei der recherchierten Studien [56] [60] [61] wurden die Effekte eines körperrgewichtunterstützenden Laufbandtrainings bei Parkinsonpatienten untersucht. Dabei reduzierte eine Aufhängevorrichtung das Körpergewicht der Patienten zwischen 0% bis 20%. In der Studie von Miyai *et al.* [61] konnte durch dieses Laufbandtraining im Crossover Vergleich zur konventionellen Physiotherapie signifikante Verbesserungen in der Ganggeschwindigkeit, der Schrittzahl beim 10 m Gangtest und dem UPDRS Score erzielt werden. Untersucht wurden 10 Parkinsonpatienten im Hoehn & Yahr (H&Y) Stadium 2,5 - 3. In einer Langzeitstudie der gleichen Forschergruppe [56] mit einer Kontrollgruppe (Physiotherapie) und einer Stichprobe von 24 Parkinsonpatienten im H&Y Stadium 2,5 - 3 bestätigten sich die vorherigen Ergebnisse. Zusätzlich konnte die Leistungsverbesserung der Patienten im 10 m Gehstest nach einem 4-Monate Follow up noch nachgewiesen werden. Fisher *et al.* [60] ergänzten ihre Studie mit zwei Kontrollgruppen (Physiotherapie, kein Training) und erzielten ähnliche Ergebnisse. Die Ganggeschwindigkeit, die Schrittlänge und die Schrittfrequenz verbesserten sich nach einer 8-wöchigen Trainingsphase in der Laufbandtrainingsgruppe ebenso, wie sich auch die Gewichtsverteilung beim Aufstehen im Vergleich zu den anderen Gruppen positiv entwickelte. Untersucht wurden 30 Patienten im H&Y Stadium 1 - 2.

Im Gegensatz zu den oben genannten Studien trainierten die Patienten (n = 9, H&Y 2 - 3) in der Trainingsstudie von Filippin *et al.* [63] mit einem zusätzlichen Gewichtsgurt (ca. 10% Körpergewicht)

auf dem Laufband. Das 3-phasige Trainingsprogramm wurde gestaffelt in sechs Wochen Laufbandtraining, sechs Wochen Physiotherapie und nochmals sechs Wochen Laufbandtraining. Die Analyse-schwerpunkte lagen hierbei in der motorischen Parkinson-Symptomatik (UPDRS Motor Score - Teil III des UPDRS Gesamt) und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. [63]. Beide Scores wurden durch das Training statistisch signifikant verbessert.

Einige Forschergruppen wählten als Trainingsform neben dem Laufband zusätzlich noch andere Ausdauergeräte, wie das Fahrradergometer und/oder das Rudergerät. [18] [66] Dabei konnten Schenkman *et al.* [66] in ihren Fallbeispielen ( $n = 3$ , H&Y 2 - 2,5) nach 4-monatigem überwachtem Training eine Verbesserung der Bewegungsökonomie ( $VO_2$ -Aufnahme beim Gehen, Laufbandtest) bei allen drei untersuchten Patienten beobachten. Bei zwei Patienten wurden zusätzlich Verbesserungen im UPDRS Score und FRT (Functional Reach Test), FAR (Functional Axial Rotation Test) und CS-PFP (Continuous-Scale Physical Functional Performance Test) festgestellt, die in einem Follow Up nach 12 Monaten durch ein selbstständig durchgeführtes Training noch aufrecht erhalten werden konnten. Die Gruppe von Bergen *et al.* [18] testete nach einem 16-wöchigen Ausdauertraining die  $VO_{2peak}$  mit Hilfe eines Fahrradergometertests und konnte im Vergleich zur trainingsfreien Kontrollgruppe eine statistisch signifikante Verbesserung dessen, sowie eine Verbesserung der Bewegungsinitiierung (Signaltest Oberarmbewegungen) bei den Parkinsonpatienten ( $n = 8$ , H&Y 2) erreichen.

Die Forschergruppe von Protas *et al.* [59] untersuchte den Effekt eines Ausfallschrittrainings auf dem Laufband bei männlichen Parkinsonpatienten (H&Y 2 - 3), bei dem die Patienten in Vorwärts-, Rückwärts- und Seitwärtsrichtungen mehrere Minuten gingen und anschließend aus dem Stand aus allen Richtungen durch unerwartetes Anschalten des Laufbandes Ausfallschritte über einen Zeitraum von 8 Wochen geübt haben. Durch das Training konnten sich die Patienten in der Trainingsgruppe ( $n=9$ ) im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Training ( $n = 9$ ) sowohl in der Ganggeschwindigkeit, Schrittlänge, Schrittfrequenz (Anzahl Schritte pro Sekunde), gemessen mit GAITRite (Ganganalysesystem - 4,27 m Gangteppich mit 16000 Sensoren), als auch im dynamischen Gleichgewicht (5-Step Test) und Anzahl der Stürze verbessern.

Wiederum eine andere Variante des Laufbandtrainings untersuchte das Team von Yang *et al.* [57], das ein 4-wöchiges körperrgewichtunterstützendes Bergabgehen auf dem Laufband im Vergleich zur konventionellen Physiotherapie beinhaltete. Die Trainingsgruppe ( $n = 16$ , H&Y 1 - 3) erreichte im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $n = 17$ , H&Y 1 - 3) signifikante Steigerungen in der Ganggeschwindigkeit, Schrittfrequenz, Schrittlänge (GAITRite), in der Beibehaltung der Oberkörperhaltung und in der isometrischen Maximalkraft der Oberschenkelstreckmuskulatur.

Die Literaturrecherche ergab vier Treffer hinsichtlich Studien, bei denen ein klassisches Laufbandtraining durchgeführt wurde. [58] [64] [65] [67] In diesen Studien wurden Parkinsonpatienten auf dem Laufband mit stufenweiser Erhöhung der Ganggeschwindigkeit [58] [65] [67] bzw. mit einem Zielpuls von 70-80% des Maximalpulses [64] trainiert. Während in der Trainingsgruppe von Cakit *et al.* [58] bereits während jeder einzelnen Trainingseinheit die Ganggeschwindigkeit stufenweise (je nach Leistung des Patienten) erhöht wurde, erfolgte die Anpassung an die Ganggeschwindigkeit bei Herman *et al.* [67] nur einmal pro Woche. Die Forschergruppe von Pelosin *et al.* [65] steigerten die

Ganggeschwindigkeit alle drei Tage um 0,5 km/h und Kurtais *et al.* [64] erhöhten die abgeforderte Leistung während der Trainingsphase graduell. Dies geschah entweder über die Geschwindigkeit oder über die Steigung des Laufbandes. Es ist festzuhalten, dass bei allen Studien mit ihren jeweiligen Trainingsmethoden positive Ergebnisse erzielt wurden.

So erzielten die Parkinsonpatienten ( $n = 21$ , H&Y 2 - 3) der Gruppe Cakit *et al.* [58] durch das 8-wöchige Laufbandtraining signifikante Verbesserungen in der Gehdistanz und der maximal tolerierten Ganggeschwindigkeit auf dem Laufband, außerdem im Berg Balance Scale (BBS - Testung auf Gleichgewicht), im Dynamic Gait Index und im Falls Efficacy Test. Auch Herman *et al.* [67] beobachteten positive Ergebnisse direkt und vier Wochen nach Trainingsende. Unmittelbar nach Trainingsende zeigten die Parkinsonpatienten ( $n = 9$ , H&Y 1,5 - 3) statistisch signifikante Verbesserungen in der Ganggeschwindigkeit, Schrittlänge, Visual Analog Skala zur eigenen Beurteilung der Gangleistung, Short Physical Performance Battery und dem PDQ-39 (Parkinson's Disease Questionnaire - Krankheitsspezifischer Fragebogen zur Erfassung der Lebensqualität von Parkinsonpatienten) Score. Auch vier Wochen nach Trainingsende blieben die Ganggeschwindigkeit, die Schrittlänge und die Visual Analog Skala der Gangbeurteilung statistisch signifikant über dem Basiswert erhöht und auch der UPDRS Motor Score blieb bis vier Wochen nach Trainingsende deutlich unterhalb des Ausgangswerts. Ebenfalls erzielten Pelosin *et al.* [65] Kurz- und Langzeiteffekte durch ihr 4-wöchiges Laufbandtraining. Im Laufbandtest zeigten sich direkt nach Trainingsende statistisch signifikante Verringerungen der Sauerstoffaufnahme, des Pulses und der Atemfrequenz, die auch 30 Tage nach Trainingsende etwas abgeschwächt nachweisbar waren. Im spiroergometrischen Fahrradtest konnte jedoch keine Veränderungen in den metabolischen Parametern beobachtet werden. Ebenfalls deutlich verbessert haben sich kurz- und langfristig die Leistungen der Patienten ( $n = 10$ , H&Y 1 - 2,5) im 6-Minuten-Gehtest und dem 10 m Gehtest. Dahingegen ließ sich die Leistung beim Aufstehen nur kurzfristig verbessern.

Des Weiteren konnte in der Studie von Kurtais *et al.* [64] in fast allen Leistungstests nach deren 6-wöchiger Trainingsperiode deutliche Steigerungen erreicht werden. Die Parkinsonpatienten ( $n = 12$ , H&Y 1 - 3) verbesserten sich in:  $VO_{2peak}$ , Testdauer auf dem Laufband, MET (metabolic equivalent of task), 20 m Gehzeit, Zeit U-turn Test, Zeit Stuhl umkreisen, Zeit Treppentest, Zeit Aufstehen und der Einbeinstand auf der rechten Seite.

Bello *et al.* [68] evaluierten den kurzfristigen Effekt eines Laufbandgangtrainings auf das Gangverhalten am Boden bei Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollpersonen. Dazu führten acht Patienten in moderatem Stadium (H&Y 2 - 2,5), acht Patienten in fortgeschrittenem Stadium (H&Y 3) und acht gesunde Kontrollpersonen als erstes einen 10 m Gehtest, danach ein 20-minütiges Laufbandgehtraining und abschliessend nochmals drei Gehtests auf dem Boden durch. Während dem Laufbandtraining verringerte die Gruppe der fortgeschrittenen Patienten statistisch signifikant deren Schrittfrequenz und verlängerten die Schrittlänge im Vergleich zum 10 m Vortest auf dem Boden. Nach dem Training erhöhte sich die Schrittlänge und die Gehgeschwindigkeit in allen drei Gruppen statistisch signifikant im Vergleich zum 10 m Vortest auf dem Boden.

Das Studienteam von Pohl *et al.* [69] untersuchten ebenfalls den Kurzzeiteffekt unterschiedlicher Gehtrainingseinheiten auf dem Laufband bei Parkinsonpatienten ( $n = 17$ , H&Y 1 - 3). Dazu durch-

liefen die Patienten vier Therapiemöglichkeiten mit anschließendem Gehtest am Boden mit und ohne Kraftmessplatten. Diese vier Einheiten gestalteten sich aus zwei Laufbandtrainingseinheiten, dem STT (*Speed Dependend Treadmill Training* - stufenweises Heranführen an höhere Gehgeschwindigkeiten für je 10 Sekunden) und dem LTT (*Limited Progressive Treadmill Training* - Gehen wie bei selbstgewählter Geschwindigkeit am Boden) und zwei Kontrolltherapien, CGT (*Conventional Gait Therapy* - Physiotherapie für Gehen) und CI (*Control Intervention*- Sitzen). Die Patienten erzielten im Gegensatz zu den beiden Kontrolleinheiten nach den beiden Laufbandeinheiten statistisch signifikante Verbesserungen in der Gehgeschwindigkeit und in der Schrittlänge. Außerdem verringerte sich die Doppelstandphase nach der STT und LTT Einheit.

In einer weiteren Studie der Forschergruppe Bello *et al.* [70] versuchte das Team herauszufinden, welcher Mechanismus für die Verbesserung des Gangbildes nach Laufbandtraining verantwortlich ist und entwickelten dazu einen Laufbandsimulator ohne einem aktiven Laufband. Dieser Simulator lief in konstanter Geschwindigkeit über Rollen entlang eines Ganges, der wie auch das andere intakte Laufband mit Sichtschutz umrahmt war. Die neun Parkinsonpatienten (H&Y 3) und die neun gesunden Kontrollpersonen trugen für die Ganganalyse eine Innensohle mit fünf Sensoren. Sie wurden als erstes am Boden getestet, dann auf dem intakten Laufband, danach im Simulator mit Unterstützung (Festhalten an Haltegriffen) und anschließend im Simulator ohne Unterstützung. Im Verlauf des Laufbandtests vergrößerten die Patienten die Schrittlänge und verringerten die Schrittfrequenz und den Variationskoeffizient (CV - coefficient of variation) der Zeit des Doppelstandphase im Vergleich zum Gehen auf dem Boden. Im Simulator mit Unterstützung verringerte sich ebenfalls der CV der Zeit der Doppelstandphase bei den Patienten im Vergleich zum normalen Gehen. Im Simulator ohne Unterstützung verringerten beide Gruppen die Schrittlänge und erhöhten die Schrittfrequenz, sowie den CV der Zeit der Doppelstandphase. Schlussfolgernd sehen die Autoren die propriorezeptiven Informationen durch das Laufband als Ursache für die Verbesserungen in der Schrittlänge bei Parkinsonpatienten.

Mehrholz *et al.* [71] haben in einem Review Artikel die Effekte von Laufbandtraining auf den Gang bei Parkinsonpatienten zusammengefasst und konnten mit einer Auswahl von acht Studien schlussfolgern, dass Laufbandtraining die Ganggeschwindigkeit, Schrittlänge und Gehdistanz bei Parkinsonpatienten statistisch signifikant verbessern kann. Die Ergebnisse sind jedoch vorsichtig zu interpretieren, da erhebliche Unterschiede in den Patientencharakteristika Dauer, Frequenz und Art des Trainings vorhanden sind.

Zusammengefasst führt regelmäßiges Laufbandtraining bei Parkinsonpatienten zur Verbesserung der Ganggeschwindigkeit, [56] [57] [58] [59] [60] [61] [67] [68] [69] [72] der Schrittlänge [57] [60] [68] [72] und der Schrittfrequenz. [56] [59] [60] [61] [69]) Diese positive Entwicklung spiegelt sich auch im neurologischen Krankheitsbild in Form verbesserter UPDRS Scores [58] [60] [61] [63] [67] [72] und einer höheren Lebensqualität der Patienten [63] [67] wider. Auch die metabolische Leistungsfähigkeit der Parkinsonpatienten konnte durch das Laufbandtraining deutlich gesteigert werden [18] [64] [65] [66].

### 3.4.2 Krafttraining

Als weitere sporttherapeutische Trainingsmethode wurde in der Parkinsonforschung das Krafttraining von verschiedenen Studienteams untersucht. [73] [74] [75] [76] [77] Eine besondere Art von Krafttraining führten die Parkinsonpatienten in der Studie der Forschergruppe von Dibble *et al.* [73] durch. In dieser Untersuchung wurden 2 Patientengruppen (jeweils  $n=10$ , H&Y 1-3) trainiert. Eine Gruppe verwendete zum Training ein speziell angefertigter Exzentrikfahrradergometer als Trainingsgerät, während die zweite Gruppe als Vergleichsgruppe diente und ein parkinsonspezifisches Standardtherapietraining (Dehnen, Beweglichkeit, Laufbandtraining und Fahrradergometertraining) durchführte. Im Vergleich zur Standardtherapie erzielte das Exzentriktraining einen höheren Kraftzuwachs in der isometrischen Oberschenkelkraft, und eine statistisch signifikante Steigerung der Ganggeschwindigkeit (10 m Gehtest), der Aufstehleistung (TUG Test - Timed Up and Go) und des PDQ-39 Scores.

Eine der ganz wenigen Studien, die gesunde Kontrollpersonen in die Parkinson-Trainingsanalyse mit einbezogen hat, ist die von Scandalis *et al.* [74]. Hierbei resultierte ein 8-wöchiges Krafttraining in einen Kraftzuwachs der unteren Extremitäten (gemessen an den Trainingsgeräten) und einer verbesserten Gehfähigkeit (3D Kinematik) bei den Patienten ( $n = 14$ , H&Y 2 - 3). Beide Gruppen konnten ebenfalls ihre Bauchkraft statistisch signifikant verbessern, allerdings lag die Bauchkraft bei den Patienten an beiden Messzeitpunkten (vor/nach Training) deutlich unterhalb der Werte der gesunden Kontrollpersonen ( $n = 6$ ). Es ist jedoch festzuhalten, dass die Parkinsonpatienten nach Training das gleiche Kraftniveau erzielten, das die gesunde Kontrollgruppe vor Trainingsbeginn aufwies. Ansonsten unterschieden sich die beiden Gruppen im Kraftverhalten der unteren Extremitäten nicht, beide verbesserten sich nach dem Training auf das gleiche Niveau. Anders verhielt es sich mit den Gangparametern. Die Schrittlänge der Patienten war vor und nach dem Training deutlich geringer als bei den gesunden Kontrollpersonen. Bemerkenswert ist, dass sich durch das Training die Schrittlänge statistisch signifikant erhöhte, während bei den gesunden Personen keine Veränderung eintrat. Ähnlich wie bei der Bauchkraft lag die Ganggeschwindigkeit bei den Parkinsonpatienten vor dem Training statistisch signifikant unter dem Wert der gesunden Kontrollpersonen. Die Parkinsonpatienten konnten jedoch durch das Training das gleiche Niveau wie die Vergleichspersonen erreichen, die ihre Werte nicht verbessern konnten. Scandalis *et al.* [74] untersuchten außerdem den Kopfwinkel relativ zum Boden, der sich bei den Patienten durch das Krafttraining verbesserte. Dies könnte auf eine Aufrichtung des Körpers hinweisen.

Zwei weitere Forschergruppen untersuchten den Effekt eines kombinierten Trainings von Kraft- und Gleichgewichtstraining. [75] [76] In der kleinen Studie von Toole *et al.* [75] trainierte eine Parkinsongruppe ( $n = 4$ , H&Y 1 - 3) für 10 Wochen schwerpunktmäßig Gleichgewicht, kombiniert mit Krafttraining für die Oberschenkel und das Fussgelenk. Im Vergleich zur Parkinson-Kontrollgruppe ( $n = 3$ , H&Y 1 - 3) ohne Training verbesserte die Trainingsgruppe ihre Gleichgewichtsleistung statistisch signifikant und erzielte eine moderate Erhöhung der Kraftfähigkeit in der konzentrischen Oberschenkel- ( $90^\circ/\text{s}$  Umdrehungsgeschwindigkeit) und Fussgelenkkraft ( $120^\circ/\text{s}$ ).

Das Studienteam Hirsch *et al.* [76] verglich die Effekte eines 10-wöchigen Gleichgewichtstrainings mit den Effekten einer Kombination von Gleichgewicht- und intensivem Krafttraining bei Parkinson-

patienten. Beide Gruppen erzielten durch das Training Verbesserungen in Kraft (am Trainingsgerät) und Gleichgewicht, wobei die Kombinationsgruppe ( $n = 6$ , H&Y  $1,8 \pm 0,3$ ) die Gleichgewichtsgruppe ( $n = 9$ , H&Y  $1,9 \pm 0,6$ ) statistisch signifikant übertraf. In einem 4-Wochen Follow-up konnte ein annähernder Erhalt des Leistungsniveaus in beiden Gruppen beobachtet werden.

Eine andere Trainingskombination analysierte die Forschergruppe von Cruise *et al.* [77] Diese kombinierte in ihrem 12-wöchigen Trainingsprogramm Kraft und Ausdauer, um dessen Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten (MMSE - Mini-Mental State Examination) (AUSNART - Australien National Adult Reading Test) und auf die Lebensqualität (PDQ-39) der Patienten zu untersuchen. Verglichen wurde eine Parkinson-Trainingsgruppe ( $n = 15$ , H&Y 1 - 3) (Fitnessstudie: Gehen, Fahrradergometer und Kraftmaschinen für obere und untere Extremitäten) mit einer Patientenkontrollgruppe ( $n = 13$ , H&Y 1 - 3) ohne Extratraining. Das Training bewirkte leichte bis positive Vorteile für die kognitive Leistung der Patienten, zeigte aber keinen Einfluss auf die Lebensqualität und auf die Stimmung.

In der Zusammenfassung bewirkt Krafttraining eine Leistungssteigerung bei Parkinsonpatienten in der Ganggeschwindigkeit [73] [74] und in der Schrittlänge [74], sowie in der Bauch- [74] und Beinkraft [74] [75] [76], im Gleichgewicht [75] [76] und dem Aufstehen. [73]

### 3.4.3 Nordic Walking Training

Eine eher natürlichere Form des Gangtrainings ermöglicht das *Nordic Walking* (NW) Training. Nur wenige Forschergruppen haben sich bisher mit dieser sporttherapeutischen Methode befasst. [62] [78] [79] [80] [81] Die Literaturrecherche ergab drei Treffer für NW-Studien, in denen das Gangverhalten evaluiert wurde. [62] [78] [79] Beispielsweise untersuchten van Eijkeren *et al.* [78] die Effekte eines 6-wöchigen NW-Trainings bei Parkinsonpatienten ( $n = 19$ , H&Y 1 - 3) auf Gangverhalten, Aufstehen und Lebensqualität mit Hilfe eines 10 m und 6 Minuten Gangtests, dem TUG und der Erfassung des PDQ-39. Die Hälfte der Trainingsgruppe wurde zusätzlich fünf Monate nach Trainingsende untersucht. Unmittelbar nach Trainingsende erreichten die Patienten in allen Tests statistisch signifikante Verbesserungen. Auch nach fünf Monaten Follow-up konnte in der Teilpopulation ein ähnliches Niveau wie bei Trainingsende beobachtet werden. Die Autoren begründen den Leistungserhalt jedoch durch die Erhöhung der körperlichen Aktivität nach Beendigung des Trainings.

Die Forschergruppe Reuter *et al.* [62] publizierte in Form eines Posters die Effekte eines 12-wöchigen NW-Trainings im Vergleich zu einer nicht sporttherapeutischen Intervention (Entspannungsübungen) bei Parkinsonpatienten. Evaluiert wurde diese Studie durch einen Laufbandtest, einem 12 m Gangtest, einem 2 x 12 m Gangtest mit Wenden, einer Ganganalyse (ist in der Posterpräsentation nicht näher erklärt), den UPDRS Motor Score und einen psychologischen Test (wurde ebenfalls nicht näher definiert). Während die NW-Trainingsgruppe ( $n = 38$ , H&Y 2 - 3) eine statistisch signifikante Erhöhung der Ganggeschwindigkeit in beiden Gangtests und auf dem finalen Laufbandtest, sowie eine niedrigere Blutdrucksteigerung während dem finalen Laufbandtest erzielten, blieben die Leistungen der Kontrollgruppe ( $n = 30$ , H&Y 2 - 3) unverändert. Auch die Schrittlänge und -frequenz verbesserte sich in der NW-Gruppe. Allerdings blieb der UPDRS Motor Score in beiden Gruppen auf gleichem Niveau,



wohingegen sich die Stimmung der Patienten positiv entwickelte. Ausschließlich die NW-Gruppe berichtete von einer Erhöhung der Alltagsaktivitäten, während sich das Muster der körperlichen Aktivität in beiden Gruppen nicht änderte.

In einer zweiten Studie des gleichen Studienteams [79] wurde das NW-Training mit *Walking* und mit einem Beweglichkeits-/Entspannungstrainings verglichen, die Trainingsdauer betrug 6 Monate mit einer Frequenz von 3 Mal/Woche. Es wurden die Gangleistung auf einem Laufbandtest, dem 12 m und 2 x 12 m Gangtests, das Gleichgewicht (BBS), der UPDRS Score, die Visuelle Analog Skala zur Beurteilung der Schmerzen in verschiedenen Körperregionen und der PDQ-39 nach Training ausgewertet. Alle drei Interventionsgruppen berichteten eine Verringerung der Schmerzen und verbesserten sich statistisch signifikant im Gleichgewicht, sowie in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Die *Walking* (n = 30, H&Y 2 - 3) und *Nordic Walking* (n = 30, H&Y 2 - 3) Gruppe erzielte zusätzlich statistisch signifikante Leistungssteigerung in folgenden Messgrößen: Ganggeschwindigkeit während den 12 m Gangtests, Schrittlänge, Schrittlängevariabilität, Schrittzeit und Doppelstandphase, submaximale Leistungskapazität, UPDRS. Die Patienten in der NW-Gruppe übertrafen die Leistungssteigerungen der anderen Gruppen in Gleichgewicht, Schrittlänge, Gangmuster und Gangvariabilität.

Im Fokus der Studie von Baatile *et al.* [80] lag die Wirkung eines NW-Trainings auf die Lebensqualität und Symptomatik der Parkinsonpatienten. Dazu wurden die sechs Patienten (H&Y 2 - 3) über einen Zeitraum von 8 Wochen 3 Mal/Woche trainiert und vor und nach der Trainingsperiode bezüglich dem PDQ-39 und dem UPDRS Score untersucht. Beide Scores konnten durch das Training statistisch signifikant verbessert werden.

Die Forschergruppe Ebersbach *et al.* [81] verglich NW-Training mit einem speziellen Physiotherapie-training (*LSVT<sup>®</sup> BIG - Lee Silverman Vice Treatment* mit großen Bewegungsamplituden) und Heimtraining mit dem Analyseschwerpunkt des UPDRS Motor Score. Die Patienten trainierten 8 Wochen mit einer Frequenz von 2 Mal/Woche und erreichten statistisch signifikante Verbesserungen im UPDRS Motor Score in der *LSVT<sup>®</sup> BIG*-Gruppe (n = 20, H&Y 1 - 3) und moderate in der NW-Gruppe (n = 19, H&Y 1 - 3) und der Heimtrainingsgruppe (n = 19, H&Y 1 - 3). Auch die Leistungssteigerungen in dem TUG Test und dem 10 m Gangttest waren in der NW-Gruppe im Vergleich zur *LSVT<sup>®</sup> BIG*-Gruppe moderat, während das jeweilige Training keine Änderungen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität erzielte.

In der Summe zeigt sich das *Nordic Walking* als erfolgreiche Trainingstherapie bei MP für Gangverhalten, [62] [78] [79] UPDRS Score, [79] [80] Lebensqualität der Patienten [78] [79] [80] und Aufstehen. [78]

### 3.4.4 Fahrradergometer

Burini *et al.* [82] untersuchten mit Hilfe eines Crossover-Studiendesigns die Effekte eines 8-wöchigen Fahrradergometertrainings im Vergleich zu einem Qi-Gong Training, bezogen auf die Gangleistung im 6-min Gehstest und der metabolischen Leistungsfähigkeit bei einer Gruppe von n = 22 Parkinsonpatienten (H&Y 2 - 3). Die Forschergruppe konnte beobachten, dass das Fahrradergometertraining

statistisch signifikante Verbesserungen in der Gangleistung, der  $VO_{2peak}$  und der relativen  $VO_2$  erzielte. Getestet wurde durch ein Spiroergometertest auf dem Fahrrad mit einem Rampenprotokoll. Der UPDRS Score und der PDQ-39 Score veränderte sich in beiden Gruppen nicht.

Die Forschergruppe Ridgel *et al.* [83] verglich ebenfalls den Einfluss eines 8-wöchigen Fahrradergometertraining auf Parkinsonpatienten mit dem Unterschied, dass es 2 Trainingsvarianten gab: Gruppe 1 (n = 5, H&Y 1 - 3) überwachte das Training freiwillig und selbstständig (VE - voluntary exercise), Gruppe 2 (n = 5, H&Y 1 - 3) trainierte zusammen mit einem Trainer auf einem Tandemrad und erhielten verbale Unterstützung (FE - forced exercise). Ein submaximaler Fahrradergometertest vor und nach dem Training zeigte, dass sich die aerobe Kapazität bei beiden Gruppen in ähnlichem Umfang verbesserte. Die FE Gruppe verbesserte sich zusätzlich statistisch signifikant im UPDRS Score und erzielten zudem Leistungssteigerungen in der Handmotorikfunktion und in der Handgeschicklichkeit.

Beide Studien konnten aufzeigen, dass auch Fahrradergometertraining die Leistung von Parkinsonpatienten im Gehen [82], in der metabolischen Leistungsfähigkeit und der Handmotorik und Handgeschicklichkeit verbessern kann. [82] [83]

### 3.5 Defizite bisheriger Trainingsstudien

Die im obigen Kapitel vorgestellten sporttherapeutischen Trainingsstudien zeigen in der Summe, dass Sport die Leistungsfähigkeit der Parkinsonpatienten verbessern kann. Doch die Aussagekraft der Ergebnisse und die Umsetzbarkeit in die Praxis ist durch folgende Defizite stark erschwert:

Leider konnte nicht nachgewiesen werden, welches sporttherapeutische Training für den Parkinsonpatienten am besten geeignet ist, beziehungsweise welches Patientenkollektiv von welcher Trainingsmethode am meisten profitiert. Denn die Charakteristiken der Patienten wie z.B. das Hoehn und Yahr Stadium oder die Krankheitsdauer unterscheiden sich deutlich zwischen den Studien.

Eine Vergleichbarkeit der Studienergebnisse ist praktisch nicht gegeben, da sich die Messmethoden wie auch die Trainingsmethoden stark voneinander unterscheiden.

Die meisten Kontrollgruppen bestehen aus kleinen und inhomogenen Stichproben von inaktiven Parkinsonpatienten. Es wurden so gut wie keine *gesunden* Kontrollpersonen in die Interventionsstudien mit einbezogen. Folglich bleibt die Frage offen, ob der Parkinsonpatient in gleicher Weise oder anders auf körperliches Training reagiert als gesunde Personen. Es ist dadurch nicht möglich, gegebenenfalls parkinsonspezifische Trainingsmethoden zu entwickeln.

Ein Großteil der bisherigen Studien konzentrieren sich bei der Effektanalyse auf die Untersuchung einzelner Leistungsbereiche, wie beispielsweise das Gangverhalten. Es liegen kaum Studien vor, in denen ein weites Spektrum der Symptombereiche in der Effektanalyse abgedeckt werden, wie z.B. Motorik, ventilatorische oder metabolische Leistungsfähigkeit, Kraft und neurologische Aspekte.

---

Die meisten der bisherigen Studien führen ihre Untersuchungen mit kleinen Patientenkollektiven durch, was die Aussagekraft der Ergebnisse stark vermindert. Nur vereinzelte Trainingsinterventionen wurden mit mehr als 10 Patienten pro Gruppe durchgeführt.

Hinterfragt man die untersuchten Trainingsmethoden unter dem Aspekt des therapeutischen Aufwands und den entsprechenden Kosten, so stellt sich heraus, dass fast alle vorgestellten Trainingsmethoden (mit Ausnahme des *Nordic Walking* Trainings) durch die intensive Betreuung (eins zu eins) und die Gerätewahl sehr kostenaufwendig sind. Dies erschwert die langfristige Umsetzbarkeit und die Compliance zur sportlichen Aktivität für die Parkinsonpatienten.

Die meisten Trainingsmethoden basieren auf einem eher alltagsfernen Trainingsgrundsatz, wie beispielsweise das Laufband mit und ohne Zusatzgewicht, Schrittraining auf dem Laufband oder das exzentrische Fahrradergometertraining.

Auf der Basis der Defizite bisheriger Trainingsstudien wurden folgende Aspekte in der Planung der vorliegenden sporttherapeutischen Studie bedacht:

- Die Gruppen sollen so homogen wie möglich sein
- Nur validierte Messmethoden sollen zur Anwendung kommen
- Einbeziehung einer gesunden Kontrollgruppe
- Es soll ein weites Spektrum der Symptombereiche untersucht werden
- Die Stichprobe soll angemessen groß sein
- Die Trainingsmethode soll kostengünstig, selbstständig und langfristig umsetzbar sein und einen alltagsnahen Trainingsgrundsatz beinhalten. Deshalb fällt die Wahl auf das *Nordic Walking*, da diese Trainingsmethode eine eher natürliche Form des Gehens widerspiegelt und kostengünstig ist. Dadurch ist das Training von den Patienten durch wenig Aufwand generell selbstständig durchführbar. Weitere Motivationsfaktoren sind durch das *Nordic Walking* zusätzlich gegeben, wie Geselligkeit, Kommunikation, Austausch, Einbeziehung des Partners, Selbstständigkeit usw., was für eine langfristige Umsetzung in die Praxis förderlich ist.

## 3.6 Fragestellung der Arbeit

Folgende Fragestellungen sollen mit Hilfe der vorliegenden Studie beantwortet werden.

**Primärfrage 1: Wirkt sich ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Trainingsprogramm auf die motorische Symptomatik (gemessen über die UPDRS) von Parkinsonpatienten aus?**

- **Hypothese 1**

Das *Nordic Walking* Training bewirkt bei Parkinsonpatienten eine Verbesserung des UPDRS Scores.

---

**Primärfrage 2: Wirkt sich ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Trainingsprogramm auf das Gehen, auf das Aufstehen, auf die Oberschenkelkraft und auf die ventilatorische, sowie metabolische Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten aus?**

### **3D Kinematik**

- **Hypothese 2**

Die Parkinsonpatienten verbessern sich durch das *Nordic Walking* Training in ihrer Gangleistung.

- **Hypothese 3**

Die Parkinsonpatienten verbessern sich durch das *Nordic Walking* Training in ihrer Aufstehleistung.

### **Isokinetische Kraftmessung**

- **Hypothese 4**

Das *Nordic Walking* Training bewirkt bei Parkinsonpatienten eine Erhöhung der Oberschenkelkraft.

- **Hypothese 5**

Das *mehr betroffene* Bein zeigt eine höhere Trainingsanpassung in der Oberschenkelkraft als das *weniger betroffene* Bein.

### **Leistungsdiagnostik**

- **Hypothese 6**

Die ventilatorische und metabolische Leistungsfähigkeit der Parkinsonpatienten verbessert sich durch das *Nordic Walking* Training.

### **Sekundärfrage**

**Unterscheiden sich Parkinsonpatienten im Trainingseffekt eines 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainings von gleichaltrigen gesunden Kontrollpersonen?**

- **Hypothese 7**

Die Parkinsonpatienten zeigen ähnliche Trainingsanpassungen wie gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen.

---

## 4 Stichprobe und Methoden

### 4.1 Studienablauf

Zur Untersuchung der Fragestellungen wurden Parkinsonpatienten im mittleren Krankheitsstadium (H&Y Stadium 2-2,5) und gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen rekrutiert. Beide Gruppen führten ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Programm durch. In Abbildung 4.1 ist das Studiendesign dargestellt.



Abbildung 4.1: Schematische Darstellung des Studiendesigns

Vor Studienbeginn erfolgte eine 2-stündige Screening-Untersuchung. Diese wurde von einer Prüffärztin durchgeführt, um die Studieneignung mittels detaillierter Anamnese und klinischer, sowie neurologischer Untersuchungen zu prüfen. Die Probandendaten wurden in einem CRF (Case Report Form) aufgenommen (Anhang A). Die Screening-Untersuchung hatte folgende Inhalte:

- Probandenaufklärung
- Einholung der schriftlichen Einwilligungserklärung
- Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien
  - Prüfung von Puls und Blutdruck
  - Prüfung von Herz und Lunge
  - Prüfung aller Gelenke (freie Beweglichkeit, Schwellung, Fehlstellung)
  - Neurologische Prüfung
    - \* andere neurologische Erkrankungen als Morbus Parkinson
    - \* klinische Einstufung Morbus Parkinson bei Patienten (Hoehn & Yahr Stadium)
    - \* UPDRS in Off-Phase, nach min. 12-stündiger Medikamentenpause (über Nacht)
    - \* UPDRS in On-Phase, 60 Minuten nach Gabe von Levodopa/Benserazid 100/25 mg (L-Dopa Test)

Zur Kontrolle von Störgrößen in der körperlichen Aktivität der Probanden vor und während dem Studienverlauf wurde vor Trainingsbeginn ein Fragebogen zur körperlichen Aktivität erhoben. Zusätzlich erhielt jeder eingeschlossene Proband ein Pedometer (Schrittzähler) der Firma *Silva*, der über die gesamte Studiendauer getragen wurde. Die Probanden füllten selbständig die tägliche Gesamtschrittzahl in ein ihnen zur Verfügung gestelltes Pedometertagebuch ein. Zusätzlich wurden die Probanden gebeten, ein Trainingstagebuch über den gesamten Studienzeitraum auszufüllen. Diese Daten wurden statistisch nicht ausgewertet und werden methodisch in dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt, da sie nur Kontrollzwecken dienten.

Insgesamt wurden die Probanden an 2 Messzeitpunkten untersucht: vor Trainingsbeginn (VT) und nach Trainingsende (NT). Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Erhebung der anthropometrischen Daten
  - UPDRS (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale*)
  - 3D Kinematik Analyse (Gehen, Aufstehen)
  - Isokinetische Oberschenkelkraftmessung
  - Transthorakale Echokardiographie inklusive CW- und PW-Doppler (einmalig in A zur Erkennung von Ausschlusskriterien)
-

- Ruhe-EKG und Leistungsdiagnostik auf einem Laufband mit Belastungs-EKG und Laktatmessung
- Fragebogen zur körperlichen Aktivität

Alle funktionellen Untersuchungen, wie die motorischen Tests UPDRS und die 3D Kinematik wurden in der *OFF*-Phase (nach min. 12-stündiger Medikamentenpause über Nacht) durchgeführt, um medikamentenbedingte Effekte weitgehend auszuschließen. Die Leistungsdiagnostik und die Kraftmessung wurden in einer *On*-Phase (nach Gabe von Levodopa/Benserazid 100/25 mg 1 Stunde vor dem Test) durchgeführt, um die Beeinflussung von Tagesformschwankungen zu reduzieren. Jedoch bei 2 Patienten wurde auf die Levodopa/Benserazid Gabe verzichtet, da diese im Rahmen der Screening-Untersuchung eine Unverträglichkeit zeigten. Alle Untersuchungen wurden jeweils zur selben Tageszeit und im genannten Medikamentenstatus durchgeführt, um die Auswirkungen möglicher Medikamentenfluktuationen einzugrenzen und dadurch optimale Vergleichbarkeit der intraindividuellen Daten zu erreichen.

Das Training wurde in einer Phase der guten Beweglichkeit (*ON*-Phase) durchgeführt, um die Motivation und den Spaß an der Bewegung des Patienten möglichst hoch und das Verletzungsrisiko so gering wie möglich zu halten. Die Probanden trainierten dreimal wöchentlich, zweimal in Kleingruppen, zur gleichen Tageszeit und unter fachlichen Anleitung. Die dritte Trainingseinheiten führten die Probanden eigenverantwortlich in Wohnortsnähe durch. In der Summe absolvierte jeder Studienteilnehmer 36 Trainingseinheiten über einen Zeitraum von 12 Wochen. Eine Trainingseinheit dauert 60 Minuten.

Dem Probanden wurde ein persönlicher Terminplan ausgehändigt, in dem die Trainings- und Messtermine aufgelistet waren. Je nach Testverfahren waren Datum, Uhrzeit, Ort, Dauer und entsprechende Anweisung (beispielsweise Medikamenteneinnahme 1 Stunde vor Test, Bekleidung, *etc.*), sowie die Kontaktdaten des jeweiligen Testleiters auf dem Terminplan vermerkt.

Die Studiendauer betrug *ca.* 8 Monate: Die Rekrutierung dauerte 4 Monate und die aktive Studienphase verlief über 4 Monate mit jeweils 3 Messwochen pro Untersuchungszeitraum. Die individuelle aktive Studiendauer betrug 14 Wochen (1 Woche VT-Messungen, 12 Wochen Trainingsperiode, 1 Woche NT-Messungen).

## 4.2 Stichprobe

### 4.2.1 Fallzahlplanung

Für eine Fallzahlberechnung ist neben dem *alpha*-Wert und der statistischen Teststärke (*Power*) der zu erwartende (relative) Effekt und deren Standardabweichung notwendig. Leider waren aus der Literatur hierzu keine hinreichenden Informationen (Effekt und Standardabweichung) zu finden. Deshalb konnte für die geplante Studie keine Fallzahlberechnungen zu Zielgrößen (Hauptmessmethoden)

---

durchgeführt werden. Um systematische Effekte in den beiden Gruppen zu sehen, wurde in Relation zum Kostenaufwand jedoch eine Stichprobengröße von etwa 20 Parkinsonpatienten und ebenso 20 gesunden Kontrollpersonen als ausreichend angesehen.

### 4.2.2 Rekrutierung

Die Studienteilnehmer wurden über die Parkinson-Ambulanz der Abteilung Klinische Neurodegeneration des Hertie-Institut für klinische Hirnforschung Tübingen und über persönliche Kontaktaufnahme mit den regionalen Parkinson-Selbsthilfegruppen rekrutiert. Aus logistischen und motivationalen Gründen wurden, wenn möglich, die Partner der Parkinsonpatienten als gesunde Kontrollpersonen eingeschlossen. Um die Zielgruppengrößen zu erreichen, wurde zusätzlich in einer regionalen Zeitung geworben.

Insgesamt interessierten sich 67 Personen (34 Patienten, 33 gesunde Kontrollpersonen) für die Studienteilnahme. Nach telefonischer Kontaktaufnahme zur Vor-Prüfung der telefonisch abfragbaren Einschlusskriterie, wie z.B. aktueller Trainingsstatus, Teilnahme an anderen Studien *etc.* wurden 22 Patienten und 18 gesunde Kontrollpersonen zur Screening Untersuchung eingeladen. Alle 40 Probanden konnten nach dem Screening für die Studie eingeschlossen werden.

### 4.2.3 Stichprobe

Da vordergründig die Partner der Parkinsonpatienten als gesunde Kontrollen rekrutiert wurden, war die Geschlechterverteilung zwischen der Parkinson- und der Kontrollgruppe ungleich. Es mussten außerdem insgesamt 4 Probanden aus der Studie und aus der Datenauswertung ausgeschlossen werden, davon 1 Proband während der Studie, und 3 Probanden nach Studienende. Die jeweiligen Begründungen für den Ausschluss sind in Tabelle 4.1 aufgelistet:

Tabelle 4.1: Dropout Liste

Probanden-ID	Begründung
PSS01	Eingeschränkte Trainingsfähigkeit durch entzündeter Ischiasnerv
PSS17	Änderung der Parkinson-Medikation im Studienverlauf
PSS28	Operation am Fußgelenk im Studienverlauf
PSS34	Änderung der Parkinson-Medikation im Studienverlauf



Entsprechend ergaben sich folgende Gruppengrößen:

- Patienten: 18 Parkinsonpatienten
- Kontrollen: 18 gesunde Kontrollpersonen

Da sich die Stichproben aufgrund von vereinzelten Dropouts in den verschiedenen Messmethoden unterscheiden, werden die Stichproben in den jeweiligen Ergebnisdarstellungen durch die anthropometrischen Daten vorgestellt.

#### 4.2.4 Ein- und Ausschlusskriterien

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien waren Voraussetzung für die Studienteilnahme:

##### **Einschlusskriterien für Patienten**

- Idiopathisches Parkinson-Syndrom vom akinetisch rigiden Typ oder vom Äquivalenztyp
- UPDRS Motor-Score im OFF von mindestens 20 Punkten
- Besserung des UPDRS Motor-Score im ON um mindestens 20%, max. 35 Punkte
- Stadium nach Hoehn und Yahr max. 3
- Konstante Medikation für mindestens 4 Wochen vor Studienbeginn
- Gesundheitliche Eignung für die Trainingsmaßnahme, festgestellt im Rahmen der Screening-Untersuchung vor Studienbeginn
- Zeitliche Verfügbarkeit über den gesamten Studienzeitraum
- Bisheriger Trainingsstatus konstant für mindestens 3 Monate vor Studienbeginn
- Einwilligungsfähigkeit und Einverständnis

##### **Einschlusskriterien für Kontrollpersonen**

- Ausschluss der Diagnose Morbus Parkinson
  - Konstante Medikation für mindestens 4 Wochen vor Studienbeginn
  - Gesundheitliche Eignung für die Trainingsmaßnahme, festgestellt im Rahmen der Screening-Untersuchung vor Studienbeginn
  - Zeitliche Verfügbarkeit über den gesamten Studienzeitraum
  - Bisheriger Trainingsstatus konstant für mindestens 3 Monate vor Studienbeginn
-

- Einwilligungsfähigkeit und Einverständnis

### **Ausschlusskriterien für Patienten**

- Morbus Parkinson vom tremordominanten Typ
- Freezing
- Ausgeprägte ON-Dyskinesen, anamnestisch oder im Rahmen der Screening-Untersuchung festgestellt
- Absehbare Veränderung der Medikation im Studienverlauf vor Studienbeginn

### **Ausschlusskriterien für Patienten und Kontrollpersonen**

- Andere Erkrankung des ZNS (z.B. Demenz, Schlaganfall)
- Körperliche, geistige oder seelische Gebrechen, die eine regelmäßige und kooperative Teilnahme an den Trainingsmaßnahmen und Untersuchungen beeinträchtigen (z.B. ausgeprägte Arthrose, Demenz, ausgeprägte Depression)
- Aktueller Trainingsstatus: Mehr als 1 Mal/Woche *Nordic Walking* oder andere Ausdauersportarten (z.B. Schwimmen, Radfahrtraining, Joggen)

### **Abbruchkriterien**

Die Teilnahme an der Studie wurde beendet, wenn eines der nachfolgenden Kriterien erfüllt wurde:

- Versäumnis von mehr als 4 Trainingseinheiten im 12-wöchigen Trainingszeitraum (Teilnahme < 90%)
  - Jegliche Erkrankung oder Verletzung, welche die weitere Teilnahme am Training unmöglich macht.
  - Der Proband erfüllt während der Teilnahme eines der oben genannten Ausschlusskriterien
  - Der Proband wünscht den Abbruch. In der Probandeninformation wird der Teilnehmer unter anderem darauf hingewiesen, dass er sein Einverständnis zur Studienteilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen oder Nachteilen beenden kann.
-

### 4.2.5 Aufklärung und Einverständnis der Studienteilnehmer

Im Rahmen der Screening-Untersuchung wurden die Probanden ausführlich von der Prüferin über die Studie, deren Verlauf und zeitlichen Aufwand, sowie über alle mit der Studie in Verbindung stehenden Risiken mündlich und schriftlich aufgeklärt. Den Probanden stand genügend Zeit für Fragen bezüglich der Studie zur Verfügung, die ausführlich von der Prüferin beantwortet wurden. Ihre freiwillige Teilnahme bekundeten die Probanden mit ihrer Unterschrift unter der Einwilligungs- und Datenschutzerklärung. Die Probanden bekamen eine Kopie der Probandeninformation, sowie der Einwilligungs- und Datenschutzerklärung ausgehändigt. Eine zustimmende Bewertung der Ethikkommission lag zum Zeitpunkt der Rekrutierung bereits vor.

## 4.3 Trainingsmethode



Abbildung 4.2: *Nordic Walking* Training

Folgende Aspekte begründen die Wahl der *Nordic Walking* Trainingstherapie:

- In der dieser Studie vorgeschalteten Pilotstudie erzielte das NW Training vor dem Kraft- und Vibrationstraining die vielversprechendsten Ergebnisse.
- Eine hohe Motivation und eine leichte, sowie langfristige Umsetzbarkeit der sportlichen Betätigung steht im Vordergrund einer erfolgreichen Sporttherapie. Diese Punkte sind im NW Trainingsprogramm vereint.

- Eingeschränkte Gehfähigkeit beeinflusst stark die Selbstständigkeit und die Lebensqualität der Parkinsonpatienten. Deshalb ist ein Gangtraining im Verlauf der Krankheit sehr wichtig. Das NW Training ist ein durch Stöcke unterstütztes Gangtraining, durch das die Patienten Trittsicherheit im Alltag, gekoppelt mit einer möglichen Erhöhung der Vitalität erreichen können.
- Ein weiterer Aspekt wird durch den Stockeinsatz im NW erzielt. Die ggf. ein- oder beidseitig motorisch eingeschränkten Armseiten werden durch den Stockeinsatz zur Bewegung gezwungen. Dadurch erfolgt möglicherweise auch im Alltag eine höhere Aktivierung der „schwächeren“ Seite.

Das Training fand regelmäßig 3 Mal pro Woche über einen Trainingszeitraum von 12 Wochen statt. Zwei der Einheiten wurden in 3 Kleingruppen unter fachmännischer Leitung durchgeführt, die dritte Trainingseinheit führten die Studienteilnehmer unter Eigenverantwortung in Wohnortsnähe durch. Der Trainingstag und die -uhrzeit blieben über die 12 Wochen Trainingsphase konstant, wobei das Training jeweils um 10.00 Uhr begann und nach maximal 60 Minuten endete. Die Wahl der Trainingsuhrzeit resultierte aus der Annahme, dass die Patienten bereits ihre ersten Medikamente eingenommen haben und sich in einem Zustand guter Beweglichkeit befinden, um den Spaß an der Bewegung und das Verletzungsrisiko so gering wie möglich zu halten. In den ersten Trainingseinheiten bekamen die Studienteilnehmer anfangs jeweils eine technische Einführung bzw. dessen Wiederholung in das *Nordic Walking* Training, gefolgt von einem Intervalltraining mit einem Belastungsziel von 30 Minuten *Nordic Walking* Dauerbelastung. Die Intervallstufen sind in Tabelle 4.2 aufgeführt. Die Intervallstufe wurden in Abhängigkeit der Gruppenleistung *ca.* alle 2 Trainingseinheiten erhöht. Der individuelle Zielpuls der Studienteilnehmer für die *Nordic Walking* Belastung lag bei 80-90% des Pulses an der Individuellen Anaeroben Schwelle (IAS), die im Rahmen der ersten Leistungsdiagnostik bei jedem Studienteilnehmer festgestellt wurde. Das Training war wie folgt aufgebaut: Nach einer 10 minütigen Aufwärmgymnastik mit Dehnübungen folgte eine 30 - 40 minütige Trainingsphase, die dem Trainingszustand und der Tagesform des einzelnen Patienten angepasst wurde. Anschließend sorgte eine 10-minütige Lockerungsgymnastik mit Dehnübungen für die notwendige Abwärmung nach der Belastung. Abbildung 4.2 zeigt das Gruppentraining.

Tabelle 4.2: Belastungsgefüge Intervalltraining *Nordic Walking* (NW)

Intervallstufe	Belastungsgefüge	Intervallanzahl
1	5 Minuten Belastung mit Zielpuls/1 Minute langsames NW	5
2	7 Minuten Belastung mit Zielpuls/2 Minute langsames NW	4
3	10 Minuten Belastung mit Zielpuls/2 Minute langsames NW	3
4	15 Minuten Belastung mit Zielpuls/2 Minute langsames NW	2
5	20 Minuten Belastung mit Zielpuls/2 Minute langsames NW	1
6	25 Minuten Belastung mit Zielpuls/2 Minute langsames NW	1
7	30-40 Minuten Belastung mit Zielpuls	1

Die *Nordic Walking* Stöcke, sowie die Pulsuhren wurden den Studienteilnehmern gestellt. Bei Studienbeginn bekam jeder Teilnehmer einen Pulsmesser (*Polar Pro Trainer 5*) ausgehändigt, sowie ei-

ne persönliche Anleitung für dessen Gebrauch, damit alle Trainingseinheiten mit Pulsüberwachung durchgeführt werden konnten. Die Pulsmesser wurden wöchentlich zwischen der 1. und 2. Trainingseinheit eingesammelt und am Computer mit entsprechendem Programm ausgelesen, um das Belastungsprofil der einzelnen Teilnehmer während der jeweiligen Trainingseinheiten zu prüfen (z. B. Zielpuls, Unregelmäßigkeiten, dritte Trainingseinheit). Zusätzlich füllte jeder Teilnehmer über die Studienphase hinweg ein Trainingstagebuch aus, in dem das reguläre Sportprogramm, wie beispielsweise Parkinson-Gruppensport, und die zusätzlichen *Nordic Walking* Einheiten wöchentlich aufgelistet wurde.

## 4.4 Messmethoden

### 4.4.1 Erfassung des UPDRS Scores

Die UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) [84] ist ein Testverfahren zur Beurteilung der Schwere der Symptomatik und zur Verlaufsbeobachtung bei Morbus Parkinson. Es besteht aus 4 Teilen, wobei für die vorliegende Studie nur der dritte Teil herangezogen wurde. Dieser befasst sich umfassend mit der Motorik des Patienten (siehe Anhang C). Für diesen Teil des UPDRS wurde eine hohe Reliabilität (ICC 0,90) nachgewiesen. [85] Es können zwischen 0 und maximal 108 Punkte erreicht werden, dabei gilt: Je höher der Score, desto stärker ist die Beeinträchtigung der motorischen Fähigkeiten.

#### 4.4.1.1 Datenerhebung

Das UPDRS Testverfahren wurde an 3 Zeitpunkten durchgeführt: Beim Screening zur Überprüfung der Studieneignung, vor Beginn der Trainingsphase und nach Ende der Trainingsphase. Im Rahmen eines Interviews wurde das Testverfahren an allen Messzeitpunkten von zwei unabhängigen Untersuchern durchgeführt. Die vergebenen Punkte und die Gesamtpunktzahl wurde auf dem jeweiligen Testbogen vermerkt.

#### 4.4.1.2 Datenauswertung

Die Ergebnisse aus den Testbögen wurden in eine *Microsoft® Excel 2003* Datei manuell übertragen und doppelt auf Übertragungsfehler geprüft. Zur deskriptiven und statistischen Analyse wurden die Daten in die Statistiksoftware *JMP® 10.0.0* importiert.

Tabelle 4.3: Messgröße UPDRS

Messgröße	Abkürzung	Berechnung
UPDRS Score	UPDRS	Absolutwert (Range 0-108)

#### 4.4.1.3 Berechnete Messgröße

Die berechnete Messgröße für den UPDRS ist in Tabelle 4.3 dargestellt:

### 4.4.2 3D Kinematik

Für die Analyse des Gehens und des Aufstehens wurde eine drei-dimensionale Bewegungsanalyse mit dem *VICON System* durchgeführt. Diese Messmethode zeigt eine hohe Reliabilität auch bei Personen mit körperlichen Einschränkungen wie Parkinsonpatienten. [86] Die Untersuchung wurde in einem speziellen Messlabor durchgeführt, in dem 6 Infrarotkameras (*VICON*, Firma *Oxford Metrics*) fest installiert waren. Gemessen wurde mit einer Aufnahmefrequenz von 120 Hz. Als Markerset wurde das *Plug-In-Gait Marker Placement* von *Vicon* verwendet (siehe Anhang B), welches aus 39 Markern (Durchmesser: 25mm) besteht. Die 3D Kinematik fand immer am frühen Vormittag statt, da die Parkinsonpatienten im Off-Stadium gemessen wurden, d.h. sie hatten eine 12-stündige Medikamentenpause über Nacht. Am Tag vor dem Messtermin wurden die Probanden telefonisch an den Termin erinnert, die Patienten zusätzlich an die Nichteinnahme der morgendlichen Medikamentendosis. Nach Beendigung der Messung konnten die Patienten ihre gewohnte Medikation einnehmen. Um die Marker auf der Haut anbringen zu können, wurden die Probanden gebeten, enge Sport- oder Badebekleidung während der Untersuchung zu tragen. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt waren zwei Testleiter vor Ort. Eine Person war für die fachgerechte Durchführung der Tests verantwortlich, die zweite Person für die Mithilfe in der Probandenvor- und nachbereitung, außerdem zur Sicherung der Probanden während den Tests.

#### 4.4.2.1 Datenerhebung

Als Vorbereitung für die Messung wurde das Messsystem *Vicon* statisch und dynamisch kalibriert. Auf dem Laborboden war der Start und das Ende einer 6 Meter langen Strecke mit Klebeband markiert, die sich im Aufnahmebereich der 6 Infrarotkameras befand. Des Weiteren stand ein nicht verstellbarer Stuhl für den Aufstehversuch bereit. Die Probanden wurden ausführlich über den Ablauf der Studie informiert. Auf dem Messprotokoll wurden bei den Parkinsonpatienten die Uhrzeiten der letzten Medikamentengabe notiert, um sicher zu gehen, dass der Patient im *OFF*-Stadium ist. Vor dem Messtart wurden folgende Maße für beide Körperseiten erfasst, um diese für die Messgrößenberechnung in das Auswertprogramm *Vicon Workstation v4.6*, *Oxford Metrics* eingeben zu können:

- Durchmesser Schultergelenk (Sagittalebene)

- Durchmesser Ellenbogengelenk (Frontalebene)
- Handgelenkbreite (Frontalebene)
- Handbreite (Frontalebene)
- Beinlänge (Länge von Großer Rollhügel (*Trochanter major*) bis Außenknöchel (*Malleolus lateralis*))
- Durchmesser Kniegelenk (Frontalebene)
- Durchmesser Fußgelenk (Frontalebene)

Anschließend wurden den Patienten alle 39 Marker entsprechend dem *Plug-In-Gait* Markerset auf die Haut aufgeklebt, beziehungsweise die Marker an Kopf und am Handgelenk wurden mit Hilfe eines Stirnbandes und Handgelenkbänder am Körper fixiert (siehe Abbildung 4.3).



Abbildung 4.3: Plug-In-Gait Markerset

Es wurde eine statische Aufnahme des Probanden mit allen Markern am Körper durchgeführt, um die Markererkennung zu prüfen und die Nullposition der Marker zu definieren. Alle Marker wurden gleich im Anschluss auf die Aufnahme in der Kinematikanalysesoftware rekonstruiert und automatisch gelabelt, um die Qualität der einzelnen Testaufnahmen direkt am Bildschirm prüfen zu können. Auf diese Weise konnten Fehlversuche wiederholt werden. Pro Bewegung mussten drei gültige Tests aufgenommen werden, die jeweils verbal vom Versuchsleiter durch „Start“ und „Stopp“ initiiert wurden. Beim Versuch „Gehen“ mussten vier komplette Schrittsequenzen erreicht werden, beginnend mit einem linken Schritt. Beim „Aufstehen“ musste die Sequenz vom Bewegungsstart des Oberkörpers bis zum Ende der Rumpfbewegung nach dem Hinsetzen aufgenommen werden. Es wurden jeweils

keine Angaben zur Geschwindigkeit gegeben, um die Bewegungen nicht von außen zu beeinflussen. In Tabelle 4.4 sind die beiden Versuchsabläufe aufgelistet.

Tabelle 4.4: Messprotokoll 3D Kinematik

Versuch	Position	Bewegungsbeschreibung	Anzahl
Gehen	Auf Startmarkierung stehen	Von Markierung zu Markierung in selbst gewählter Geschwindigkeit gehen	3
Aufstehen	Frontaler Sitz, Arme an der Seite hängen lassen	Ohne Unterstützung der Hände aufstehen, einen Schritt vorwärts gehen, anschließend wieder auf den Stuhl hinsetzen	3

#### 4.4.2.2 Datenauswertung

Durch die Kalibrierung des Messsystems wird ein globales Koordinatensystem geschaffen, in dem dreidimensionale Gelenkbewegungen abgebildet werden können. Dabei stellt die x-Achse die horizontalen Bewegungen dar (vorwärts, rückwärts), die y-Achse die seitlichen (rechts, links) und die z-Achse die vertikalen Bewegungen (aufwärts, abwärts).

Mit der Kinematikanalysesoftware *Vicon Workstation v4.6*, *Oxford Metrics* wurden alle Rohdaten für die Auswertung wie folgt vorbereitet:

- Zuschneiden des Bewegungsumfangs nach oben genannten Kriterien
- Mit Hilfe eines Modells *clean 4+5 win* über *Vicon-Pipeline* Signale filtern
- Daten „säubern“:
  - Ungelabelte oder falsch gelabelte Marker richtig labeln, Ghost Marker (falsche) löschen
  - Kleine Bewegungslücken finden und interpolieren
  - Doppelt gelabelte Marker finden und löschen
  - Gebrochene Markerlinien zusammenfügen
  - Überlappungen in Markerlinien löschen
  - Bei großen Lücken über die Software *Vicon BodyBuilder v3.6*, Firma *Oxford Metrics* Lücken schließen
- Körpermaße aus dem CRF in *Vicon Workstation v4.6* übertragen
- Über *Vicon-Pipeline* mit statischen und dynamischen Modell Signale filtern
- Export als *ASCII* Dateien



Für die Berechnung der Messgrößen wurden die *ASCII* Dateien in *Matlab* v7.01, der Firma *Mathworks* importiert. Zur deskriptiven und statistischen Prüfung wurden die Messgrößen in *JMP*® 10.0.0 und gegebenenfalls in *Microsoft*® *Excel* 2003 importiert.

#### 4.4.2.3 Berechnete Messgrößen

##### Gehen

Für die Bewegungsanalyse des „Gehens“ wurden pro Versuch 4 komplette Schrittzyklen in Bezug auf Geschwindigkeit, Schrittlänge und Schrittbreite berechnet und gemittelt (siehe Tabelle 4.6).

##### Aufstehen

Auf der Grundlage des in Kapitel 3 vorgestellten 4-Phasen-Modells für das *Aufstehens* nach Schenkman *et al.* [39] wurden 5 Messgrößen ausgewählt, welche in Tabelle 4.5 definiert sind. Die Berechnungen der Messgrößen für das Gehen und das Aufstehen sind in Tabelle 4.6 aufgezeigt.

Tabelle 4.5: Definition Messgrößen Aufstehen

Messgröße	Bewegungsbeginn	Bewegungsende
Gesamtzeit Aufstehen	Vorwärtsbewegung Rumpf $\Rightarrow$ Bewegungsstart Hüftmarker	Aufsetzen der Ferse zum Schritt $\Rightarrow$ Tiefster Punkt auf z-Achse der Fersenmarker
Zeit Phase II	Verlassen Sitzfläche $\Rightarrow$ Niedrigster Körperschwerpunkt	Maximaler Dorsalflexion Sprunggelenk $\Rightarrow$ Maximaler Sprunggelenkwinkel
Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal	Über Gesamtbewegung hinweg	
Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal	Über Gesamtbewegung hinweg	
Maximaler Hüftbeugewinkel	Hüftwinkel zum Zeitpunkt niedrigster Körperschwerpunkt (Winkel ausgehend von der Sitzfläche, Vorneigung min. 91° - max. 180°)	

#### 4.4.3 Isokinetische Kraftmessung

Für die Messung der Oberschenkelkraft wurde die isokinetische Kraftmessung auf einem Isokineten ausgewählt. Diese hat sich als reliable Methode für die Testung von Oberschenkelkraft [87] auch für

Tabelle 4.6: Berechnung kinematische Messgrößen

<b>Gehen</b>		
<b>Messgröße</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Berechnung</b>
Gehgeschwindigkeit	gGait	Arithmetisches Mittel in m/s
Schrittlänge	lGait	Arithmetisches Mittel in mm
Schrittbreite	bGait	Arithmetisches Mittel in mm
<b>Aufstehen</b>		
<b>Messgröße</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Berechnung</b>
Gesamtzeit Aufstehen	time	Arithmetisches Mittel in s
Zeit Phase 2	time_phase 2	Arithmetisches Mittel in s
Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal	max_cog_vel_hor	Arithmetisches Mittel in km/h
Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal	max_cog_vel_ver	Arithmetisches Mittel in km/h
Maximaler Hüftbeugewinkel	hipflex	Arithmetisches Mittel in °

stark behinderte Patienten bewährt. [88] Gemessen wurde auf einem *IsoMed 2000* der Firma *Ferstl*. Das Messprotokoll basiert ursprünglich auf den Empfehlungen verschiedener Untersuchungen zur Ermittlung repräsentativer Maximalkraftentwicklung auf dem Isokineten. [89] [90] Jedoch wurden bereits vor der Pilotstudie Vortests mit studienunabhängigen Parkinsonpatienten durchgeführt, um die Umsetzbarkeit des Messprotokolls für dieses Patientenkontingent zu testen. Diese führten zu Protokollanpassungen. Zusätzlich wurden im Falle der isometrischen Krafttests die Ergebnisse der Pilotstudie mit in die Entscheidungsfindung des endgültigen Messprotokolls einbezogen. Im Folgenden sind die Begründungen für die Testauswahl aufgelistet:

- Die empfohlene Messgeschwindigkeit von 60°/s für die konzentrische Maximalkraft wurde für die Patienten übernommen, da durch diese Messgeschwindigkeit plausible Testergebnisse erzielt wurden.
- Die empfohlene Messgeschwindigkeit von 60°/s für die exzentrischen Maximalkraftmessung konnte von den Parkinson-Testprobanden nicht umgesetzt werden, da die Reaktionszeit für die Umsetzung der Geschwindigkeit zu gering war, so dass die Patienten keine Maximalkraftentfaltung erzielten. Eine Reduzierung auf 30°/s für die exzentrische Maximalkraftmessung ergab dagegen plausible Ergebnisse.
- Aus dem gleichen Grund konnte die Messgeschwindigkeit für die konzentrische Ausdauerermessung von 180°/s ebenso nicht übernommen werden. Eine Reduzierung auf 90°/s erwies sich als umsetzbar für die Parkinsonpatienten.
- Um die Patienten in Anbetracht des Testumfanges nicht unnötig zu ermüden, wurde für die isometrischen Messungen anstatt der empfohlenen Messwinkel (75°, 60°, 45°, 30°, 15°) nur

ein Messwinkel pro Bewegungsrichtung evaluiert. Die Ergebnisse aus der Pilotstudie, in denen jeweils 2 Winkel getestet wurden (Extension 60°, 45°, Flexion 30°, 15°), zeigten, dass die meisten Parkinsonpatienten ihre Maximalkraft in der Kniestreckung bei 60° und in der Kniebeugung bei 15° entwickeln konnten, so dass diese Winkel für die vorliegende Studie ausgewählt wurden.

#### 4.4.3.1 Datenerhebung

Die Probanden wurden bei beiden Untersuchungen zur gleichen Tageszeit und wenn möglich zum gleichen Wochentag einbestellt. Ein Tag vor der Testung wurden die Probanden jeweils telefonisch an den Messtermin erinnert, die Parkinsonpatienten wurden zusätzlich an die Einnahme der Levodopa/Benserazid 100/25 mg Medikation 1 Stunde vor dem Test erinnert. Die Einnahme der Medikation wurde entsprechend bei der Ankunft der Patienten geprüft. Für den Fall dass die Einnahme der Medikation von den Patienten vergessen wurde, konnte die Einnahme vor Ort nachgeholt werden und der Testbeginn wurde entsprechend verzögert.

Vor jeder Krafttestung fand eine 5-minütige Aufwärmphase auf einem Fahrradergometer bei *ca.* 70 Watt statt, je nach Leistungsvermögen des Probanden und ohne eine muskuläre Ermüdung hervorzurufen. Während dessen erfolgte eine ausführliche Erklärung des Untersuchungsablaufes. Die Oberschenkelkraft wurde in der Sitzposition mit 110° Hüftbeugung gemessen, wobei der Proband an Rumpf und Becken mit Gurten und an dem zu testenden Oberschenkel mit einem Druckpolster fixiert wurde, um Ausweichbewegungen der Probanden während der Messungen zu vermeiden. Kurz oberhalb des Fussgelenkes wurde der Hebelarm des Isokineten durch eine Manschette fixiert (Sliding-Cuff System). Abbildung 4.4 zeigt den Versuchsaufbau.

Nach Eingabe der Personendaten in den Computer wurden dem Probanden wichtige Bildschirmmerkmale für das Biofeedback und die verbalen Kommandos für die Testdurchführung erklärt. Der Proband wurde aufgefordert, bei jeder einzelnen Bewegungsausführung von Anfang bis Ende maximalen Krafteinsatz zu leisten. Zur Motivation diente, neben der fordernden, verbalen Unterstützung des Versuchsleiters, ein Biofeedback auf dem Computerbildschirm. Die Reihenfolge der Beinmessung wurde bei der ersten Untersuchung (VT) randomisiert und für zweite Messung (NT) beibehalten. Die Patienten wurden angewiesen, sich während der Messung nicht festzuhalten. Dies wurde während der Messphase vom Untersucher gegebenenfalls verbal korrigiert. Die Sitzhöhe und die Positionierung des Sitzes wurde soweit angepasst, dass die Drehachse des Messarmes mit der Drehachse des zu messenden Knies übereinstimmte. Die entsprechende Position wurde für jeden einzelnen Probanden im CRF (Case Report Form) notiert und im Isokinet gespeichert. Bei jeder Folgemessung des jeweiligen Probanden stellte sich der Isokinet automatisch in die gespeicherte Position ein, was vom Versuchsleiter anhand des CRFs überprüft wurde. Die Ausgangsposition des Unterschenkels betrug 90° Beugung. Das Bewegungsausmaß umfasste eine Streckung bis maximal 10°, je nach Dehnfähigkeit des Probanden. Falls dieses nicht erreicht werden konnte, wurde das Bewegungsausmaß individuell angepasst und entsprechend im CRF notiert. Anschließend wurde die Schwerkraft für das gestreckte



Abbildung 4.4: Isokinetische Kraftmessung

Messbein gemessen und gespeichert, die der Isokinet bei der jeweiligen Leistungsberechnung automatisch berücksichtigte. Zwischen den einzelnen Krafttests wurde eine 30-sekündige Pause durchgeführt. Nach Messende des ersten Beins wurde der Proband von der Fixierung befreit und es erfolgte ein Umbau des Isokineten für die Messung des zweiten Beins. Der Versuchsleiter blieb über alle drei Untersuchungszeitpunkten konstant, um eine möglichst hohe Standardisierung der Messmethode zu erlangen.

Tabelle 4.7 zeigt die Messabfolge aller drei isokinetischen Arbeitsweisen auf.

Tabelle 4.7: Messprotokoll Isokinetische Kraftmessung Oberschenkelmuskulatur

Arbeitsweise	Winkel/Geschwindigkeit	Dauer/Wiederholungen (Whl)
Isometrisch Extension	60°	5 Sekunden
Isometrisch Flexion	15°	5 Sekunden
Konzentrisch Extension/Flexion	60°/s	5 maximale Whl
Exzentrisch Extension/Flexion	30°/s	5 maximale Whl

#### 4.4.3.2 Datenauswertung

Der Isokinet speicherte die maximalen Kraftwerte lokal als *ASCII* Dateien, die über einen Speicherstick exportiert werden. Über eine Programmiersoftware (*Matlab 7.0.1.*) wurden die Messgrößen berechnet und zur deskriptiven und statistischen Analyse in *JMP® 10.0.0*) und gegebenenfalls in *Microsoft® Excel 2003* importiert.

#### 4.4.3.3 Berechnete Messgrößen

In Tabelle 4.8 sind die Berechnungen der Messgrößen aufgeführt. Um eine hohe Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen, unabhängig von dem Geschlecht der Probanden zu erreichen, wurden die berechneten Maximalkraftwerte auf das jeweils aktuelle Körpergewicht des Probanden normiert.

Tabelle 4.8: Berechnung isokinetische Messgrößen

Messgröße	Abkürzung	Berechnung
Isometrisch Extension	IsoEx	Maximales Drehmoment relativ zum Körpergewicht in Nm/kg
Isometrisch Flexion	IsoFlex	Maximales Drehmoment relativ zum Körpergewicht in Nm/kg
Konzentrisch Extension	KonzEx	Arithmetisches Mittel der 3 höchsten Drehmomenten relativ zum Körpergewicht in Nm/kg
Konzentrisch Flexion	KonzFlex	Arithmetisches Mittel der 3 höchsten Drehmomenten relativ zum Körpergewicht in Nm/kg
Exzentrisch Extension	ExzEx	Arithmetisches Mittel der 3 höchsten Drehmomenten relativ zum Körpergewicht in Nm/kg
Exzentrisch Flexion	ExzFlex	Arithmetisches Mittel der 3 höchsten Drehmomenten relativ zum Körpergewicht in Nm/kg

#### 4.4.4 Leistungsdiagnostik

Mit Hilfe der Leistungsdiagnostik sollten trainingsbedingte Anpassungsprozesse auf metabolischer und kardiozirkulatorischer Ebene erfasst werden. Darüber hinaus kann über die Kalorimetrie eine Abschätzung der Bewegungsökonomie auf niedriger Belastungsstufe vorgenommen werden. Die spi-roergometrische Leistungsdiagnose hat sich bei Parkinsonpatienten als hoch reliable Messmethode bewährt. [91] Für die Untersuchung der vorliegenden Fragestellungen wurde ein Mehrstufentest auf dem Laufband (modifiziertes Gehprotokoll, Stufendauer 3 min) durchgeführt. Durch Vortests mit studienunabhängigen Parkinsonpatienten wurde ein Gehprotokoll für Herzpatienten bezüglich Geschwindigkeits- und Steigerungserhöhung pro Stufe an Parkinsonpatienten getestet. Das Gehprotokoll erwies sich koordinativ als zu anspruchsvoll für das geplante Patientenkontingent, so dass die maximale Gehgeschwindigkeit und der Anstieg der Steigung entsprechend angepasst wurde. Während der Testung erfolgte eine kontinuierliche Ventilations- und Atemgasanalyse nach dem „*breath-by-breath*“-Verfahren zur Ermittlung der indirekten Kalorimetrie, der Sauerstoffaufnahme auf definierter Belastungsstufe und bei Ausbelastung, sowie der Ermittlung weiterer Leistungsmessgrößen an der ventilatorischen anaeroben Schwelle (vAT). Die Ableitung eines Belastungs-EKG während der gesamten Messung diente zum Monitoring der Herzbelastung und Berechnung des Pulses. Über die Erstellung der Laktatleistungskurve wurde die Gehleistung an der individuell anaeroben Schwelle (IAS)

nach Dickhuth als Maß für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit bestimmt. Die ermittelte IAS diente auch zur Vorgabe individueller Intensitätsempfehlung (Trainingspuls) für das durchgeführte Training. Der Leistungstest wurde auf einem Laufband in Verbindung mit einem Spiroergometriergerät (*Meta-Max 38 HP Pulsar*) durchgeführt.

#### 4.4.4.1 Datenerhebung

Wie bei der Kraftmessung wurden die Probanden 1 Tag vor dem Messtermin telefonisch erinnert, die Parkinsonpatienten zusätzlich an die Medikamenteneinnahme. Für den Fall des Nichteinnehmens des Medikaments, wurde wie in Kapitel 4.4.3.1 beschrieben vorgegangen. Ein Internist führte vor der ersten Messung (A) einmalig eine Transthorakale Echokardiographie inklusiv CW- und PW-Doppler durch, um mögliche Ausschlusskriterien zu prüfen. Jede spiroergometrische Leistungsmessung wurde von zwei Untersuchungsleitern begleitet. Eine der beiden Personen war für die protokollgerechte Durchführung des Tests verantwortlich, während die zweite Person zum Einen zur verbalen Motivation, zum Anderen aber für die Sicherheit des Probanden verantwortlich war. Hierfür stellte sich die zweite Person direkt neben das Laufband in Höhe des Probanden und in greifbarer Nähe zum Notausknopf, während sie ihre gesamte Aufmerksamkeit dem Zustand des Probanden widmete. Jedem Probanden wurde vor Testbeginn ausführlich die Testbedingungen erklärt. Vor jeder Testung wurde ein Ruhe-EKG durchgeführt, sowie Körpergröße und Gewicht der Probanden gemessen. Ein Internist prüfte vor der Laufbandtestung die Ergebnisse des Ruhe-EKGs, um mögliche Auffälligkeiten wie beispielsweise Herzrhythmusstörungen zu erkennen, die zum Abbruch der Testung führten. Erst nach der Freigabe des Internisten wurde der Proband für den Belastungstest vorbereitet. Dazu platzierten die Testleiter die Elektroden für das Belastungs-EKG am Oberkörper des Probanden und verkabelten diese mit dem Messgerät. Es wurde eine dem Gesicht des Probanden angepasste Atemmaske ausgewählt, die kurz vor Teststart dem Probanden luftdicht aufgesetzt wurde. Mit Hilfe einer Umluftmessung wurde das Messgerät kalibriert. In der Zeit zwischen der Verkabelung des Probanden und dem eigentlichen Belastungstest durften die Probanden auf einem Stuhl sitzen. Ihnen wurde dabei der Blutdruck gemessen, sowie für die Laktatmessung kapillares Blut am hyperämisierten Ohrläppchen abgenommen. Abbildung 4.5 zeigt den Versuchsablauf.

Nach positiver Vorabtestung zur Kontrolle der Atemgasaufnahme begann die eigentliche Messung mit einer 2-minütigen Ruhemessung im Stehen. Anschließend startete der Stufentest mit einer Stufendauer von 3 Minuten. Das Belastungsgefüge ist in Tabelle 4.9 aufgeführt. Am Ende jeder Minute und am Ende jeder Stufe erfolgte eine EKG-Ableitung, durch die der Puls berechnet wurde. Zusätzlich wurde am Ende jeder Stufe kapillares Blut aus einem Ohrläppchen entnommen. Der Proband wurde verbal zur maximalen Ausbelastung motiviert, in der Regel definierte der Proband selbst durch Handzeichen das Ende der Messung. Die Untersuchungsleiter beobachteten die Messwerte der Atemluft, um gegebenenfalls nach Erreichen der Ausbelastungszeichen die Messung abubrechen, damit die Probanden nicht unnötig belastet werden. Die objektiven Kriterien für die Ausbelastung sind im Folgenden aufgelistet:

- Respiratorischer Quotient  $> 1.1$



Abbildung 4.5: Messung Leistungsdiagnostik

- $VO_2$  Plateau (*levelling-off* Phänomen)

Bei Abbruch der Testung wurde die Geschwindigkeit des Laufbandes zügig bis zum Stillstand verringert. Es wurde der Blutdruck des Probanden gemessen. Die Probanden verweilten noch 5 Minuten, je nach persönlichem Bedarf im Stehen oder Sitzen, mit Atemluftmessung. Nach 1, 3 und 5 Minuten ermittelte der Testleiter nochmals den Puls mittels EKG-Ableitung, nach 3 Minuten wurde erneut kapillares Blut aus dem Ohrläppchen entnommen. Nach Beendigung der 5-minütigen Erholungsphase wurden dem Probanden die Atemmaske und die Elektroden entfernt.

#### 4.4.4.2 Datenauswertung

##### Spiroergometrie

Die Spiroergometriesoftware *MetaSoft 2.4.1* gibt die Atemgaswerte grafisch und in Zahlenwerten wieder. Die von dieser Software berechnete ventilatorische anaerobe Schwelle (vAT) wurde im Anschluss an die Leistungstestung von einem erfahrenen Internisten geprüft und gegebenenfalls manuell im Programm korrigiert. Die entsprechenden Werte an der vAT werden von *MetaSoft 2.4.1* automatisch als gemittelte Messgrößen berechnet. Alle weiteren vorgegebenen Messgrößen werden ebenfalls automatisch von der Spiroergometriesoftware berechnet und können als *ASCII* Dateien exportiert wer-

Tabelle 4.9: Messprotokoll Leistungsdiagnostik (Laufband: Gehen)

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung
<b>Ruhe</b>	0	0
<b>1</b>	2,0	0,5
<b>2</b>	2,7	3,0
<b>3</b>	3,4	4,9
<b>4</b>	4,1	6,3
<b>5</b>	4,8	7,4
<b>6</b>	5,5	8,2
<b>7</b>	5,5	9,8
<b>8</b>	5,5	11,4
<b>9</b>	5,5	13,0
<b>10</b>	5,5	14,6
<b>11</b>	5,5	16,2
<b>12</b>	5,5	17,8
<b>13</b>	5,5	19,4
<b>14</b>	5,5	21,0
<b>15</b>	5,5	22,6
<b>+1</b>	0	0
<b>+3</b>	0	0
<b>+5</b>	0	0

den. Diese Messgrößen wurden für die deskriptive und statistische Analyse in *Microsoft® Excel 2003* und *JMP® 10.0.0* importiert.

### Indirekte Kalorimetrie

Auf der Basis von niedrigen und mittleren Belastungsintensitäten ist es möglich, anhand des Verhaltens von  $\dot{V}O_2$  und  $\dot{V}CO_2$  auf den Kalorienverbrauch und die Raten der Verstoffwechselung von Fetten und Kohlenhydraten zu schließen. Diese Datenanalyse wird als indirekte Kalorimetrie bezeichnet. Um den entsprechenden Fett- und Kohlenhydratverbrauch an bestimmten Messzeitpunkten zu berechnen, wurde die Berechnungsformel nach *Massicotte* genutzt. Diese Formel gilt jedoch nur für Messwerte, bei denen der Respiratorische Quotient (RQ) noch  $< 1$  ist. Entsprechend dem leistungsschwächsten Probanden wurde von einem erfahrenen Internisten entschieden, die 2. und 3. Stufe des Leistungstests auf dem Laufband als Berechnungsgrundlage zu nehmen. Dazu wurden von jeder Stufe die Messgrößen  $\dot{V}O_2$  und  $\dot{V}CO_2$  der letzten 90 Sekunden im 15 Sekunden Takt erfasst. Mit Hilfe der *Massicotte* Formel ist es möglich, für jede Zeitstufe die Kohlenhydratrate (CHOrate), die Fettrate (FATrate), die Kalorienmenge an Kohlenhydraten (CHOkcal), die Kalorienmenge an Fett (FATkcal) und die Gesamtkalorienmenge (GESAMTkcal) berechnen zu können. Diese Messgrößen wurden für



jeden Probanden in eine *Microsoft® Excel 2003* Datei importiert und mit Hilfe der *Massicotte* Formel konnte für jede Stufe die Gehökonomie berechnet werden. Zur deskriptiven Darstellung und statistischen Analyse wurden das *Microsoft® Excel 2003* Programm und das *JMP® 10.0.0* Programm verwendet.

## Laktatanalyse

Die Blutproben für die Laktatanalyse wurden nach Beendigung des Leistungstests in ein kalibriertes Laktatanalysegerät eingelegt und automatisch ausgelesen. Die Ergebnisse wurden manuell in die Auswertesoftware *AIMS* eingetragen, wobei die Eintragungen vom zweiten Testleiter überprüft wurden. In der Auswertung von *AIMS* werden die Ergebniswerte entsprechend an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) und an der aeroben Laktatschwelle (LT) dargestellt.

### 4.4.4.3 Berechnete Messgrößen

In Tabelle 4.10 sind die spiroergometrischen Messgrößen, die Messgrößen aus der Laktatanalyse und die Messgrößen aus der indirekten Kalorimetrie aufgelistet.

Tabelle 4.10: Berechnung Messgrößen Leistungsdiagnostik

Messgröße	Abkürzung	Berechnung
Maximale Sauerstoffaufnahme	$\dot{V}O_{2peak}$	Arithmetischer Mittelwert in l/min
Relative maximale Sauerstoffaufnahme	$\dot{V}O_{2peak}/kg$	Arithmetischer Mittelwert in ml/min/kg
Submaximale Sauerstoffaufnahme	$\dot{V}O_2$ an vAT	Arithmetischer Mittelwert in l/min
Submaximaler Atemäquivalent	$\dot{V}E/\dot{V}O_2$ an vAT	Arithmetischer Mittelwert
Gehökonomie auf Stufe 2	Gehökonomie Stufe 2	Arithmetischer Mittelwert relativ zum Körpergewicht in kcal/km/kg
Gehökonomie auf Stufe 3	Gehökonomie Stufe 3	Arithmetischer Mittelwert relativ zum Körpergewicht in kcal/km/kg
Relative Leistung an LT	Watt/kg an LT	Absolutwert in Relation zum Körpergewicht in Watt/kg
Relative Leistung an IAS	Watt/kg an IAS	Absolutwert in Relation zum Körpergewicht in Watt/kg
Herzfrequenz an IAS	HF an IAS	Absolutwert in 1/min
Laktat an LT	Laktat an LT	Absolutwert in mmol/l
Laktat an IAS	Laktat an IAS	Absolutwert in mmol/l

## 4.5 Statistik

Für diese Studie wurde ein Parallelgruppen Studiendesign gewählt, in dem beide Gruppen gleichzeitig die Studienintervention durchführten und vorher und nachher in ihrer Leistung untersucht wurden. Die intervallskalierten Messdaten wurden für die Verwendung des  $t$ -Tests auf folgende statistische Grundannahmen geprüft: Die Stichproben sind unabhängig (Patienten und gesunde gleichaltrige Kontrollpersonen) und die Messdaten wurden mit einem graphischen Prüfverfahren, dem „Normal Quantile Plot“ aus dem Statistik- und Grafikprogramm *JMP*® 10.0.0 auf eine deutliche oder annähernde Normalverteilung geprüft. Abbildung 4.6 zeigt das schlechteste Prüfungsergebnis einer Messgröße, das heißt, alle anderen Messgrößen weisen ein ähnliches oder besseres Ergebnis auf.

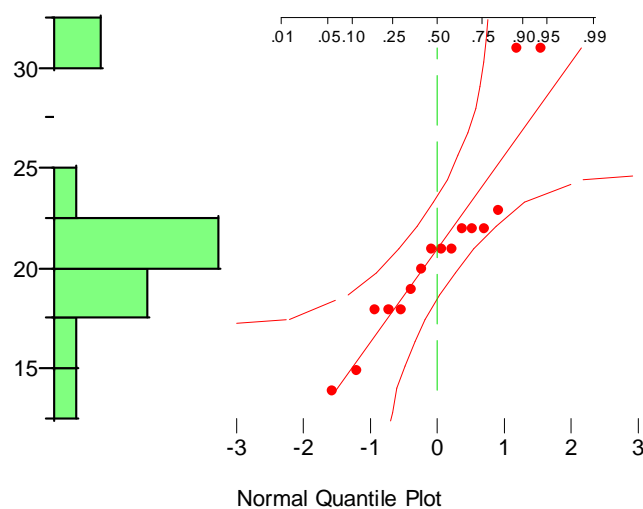


Abbildung 4.6: Beispiel graphische Prüfung Normalverteilung mit dem „Normal Quantile Plot“

Zur statistischen Bewertung der Daten wurde der *Student's t*-Test verwendet, wie üblich wurde ein statistisches Signifikanzniveau von 5 % gewählt. Ein Signifikanzniveau bis 10 % wird als statistische Tendenz gewertet. Der  $t$ -Test gilt auch schon bei kleinen Stichprobenumfängen als äußerst trennscharf bei der Darstellung statistisch signifikanter Unterschiede. [92] Die Rohdaten wurden mit den beiden Statistik- und Graphikprogrammen *JMP*® 10.0.0 und *Microsoft*® *Excel* bearbeitet. Neben der herkömmlichen Angabe des  $p$ -Wertes wurden zur weiteren statistischen Beurteilung der Mittelwertdifferenzen die zugehörigen Konfidenzintervalle, die Standardabweichungen, der  $t$ -Wert und die Freiheitsgrade berechnet und tabellarisch zusammengefasst. Die Länge des Konfidenzintervalls trägt zur besseren Einschätzung der Mittelwertdifferenz bei. Die  $p$ -Werte, Quotienten und Werte, bei denen es sinnvoll erschien, sind auf zwei, in Einzelfällen drei Stellen hinter dem Komma gerundet. Alle anderen Ergebnisse sind auf eine Stelle hinter dem Komma gerundet, mit Ausnahme der Jahre, die

als ganze Zahlen angegeben werden. Durch die Rundungen der Ergebnisse sind Diskrepanzen bei Berechnungen mit den gerundeten Zahlen möglich.

Für die statistische Prüfung der Trainingseffekte (Primärfrage 1 und 2) in den einzelnen Gruppen wurde, da es sich um zwei abhängige Messzeitpunkte handelt (vor und nach Training), der sogenannte *paired t-Test* verwendet. Die Prüfung der Normalverteilung der Messdaten entspricht den obigen Ausführungen. Abbildung 4.7 zeigt ein Beispiel der grafischen Darstellung des *paired t-Tests*.

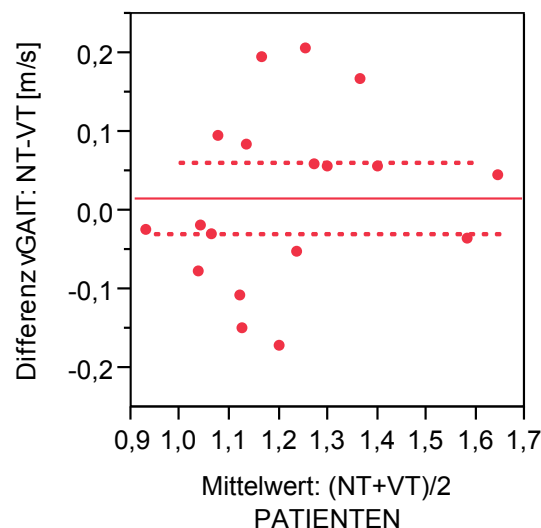


Abbildung 4.7: Graphisches Beispiel statistische Auswertung Trainingseffekt pro Gruppe

In Abbildung 4.7 sind in der y-Achse die Differenzen, in der x-Achse sind die Mittelwerte der beiden Messtage pro Proband als Messpaare abgebildet. Die rote horizontale Linie zeigt die mittlere Differenz mit dem oberen und unteren 90%-Konfidenzintervall (rote gestrichelte Linie). Liegt die Nulllinie außerhalb der 90%-Konfidenzgrenzen, unterscheiden sich die Mittelwerte nach dem 5% Niveau statistisch signifikant. In dem dargestellten Beispiel zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Da die Fragestellungen in Bezug auf die Trainingseffekte *gerichtet* sind, basiert die statistische Analyse der abhängigen Messgrößen auf dem *gerichteten* p-Wert.

Für die Prüfung der Unterschiede im Trainingseffekt zwischen den Beinseiten (Hypothese 5) und den Gruppen (Sekundärfrage) wurde die statistische Prüfung unabhängiger Variablen durchgeführt, wie sie oben beschrieben ist. Diese Analyse basiert auf dem *ungerichteten* p-Wert, da die Fragestellung *ungerichtet* ist. Abbildung 4.8 stellt ein grafisches Beispiel der Differenzvergleiche zwischen den Gruppen dar.

In Abbildung 4.8 markiert die grüne waagerechte Mittellinie den Mittelwert der Stichprobe, wobei sich die Länge der Mittellinie proportional zur Gruppengröße verhält. Die roten *Box Plots* verdeutlichen die Verteilung der Datenpunkte. Das untere Ende der Box zeigt die 25. *Quantile*, das obere Ende der Box die 75. *Quantile*, d.h. 50% aller Datenpunkte befinden sich innerhalb der Box. Die Linien, die von der Box wegführen, werden Schnurrhaare genannt. Ihre theoretische Grenze berechnet

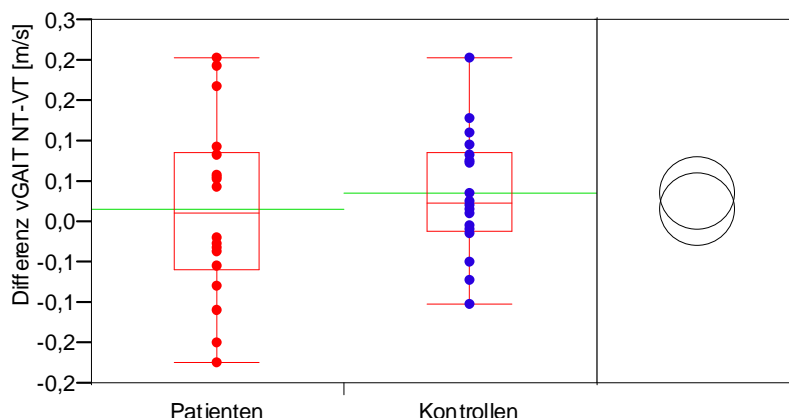


Abbildung 4.8: Graphisches Beispiel statistische Auswertung Gruppenvergleich

sich wie folgt: Die Differenz der 75. und 25. Quantile wird mit dem Faktor 1,5 multipliziert und von der 75. und 25. Quantile jeweils nach oben bzw. unten abgetragen. Der Endpunkt der Schnurrhaare liegt jedoch auf dem letzten Punkt innerhalb der theoretischen Grenze, weshalb keine Symmetrie der Schnurrhaare zu beobachten ist. Punkte, die außerhalb des *Box Plots* liegen, zeigen sogenannte „Ausreißer“. Sie bezeichnen Probanden, deren Messwerte sich stark von denen der restlichen Stichprobe unterscheiden. Die rote Linie innerhalb der Box zeigt den Median. Liegen die Mittellinie und der Median nah beieinander, ist dies ein Zeichen der Normalverteilung der Stichprobe. Die rechts eingeblendeten Vergleichskreise lassen erkennen, ob der Unterschied statistisch signifikant ist. Position und Größe der Kreise beruhen auf dem *Student's t-Test*. Die Position gibt folgende Auskunft: Kreise, die einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen darstellen, berühren sich entweder nicht oder nur so weit, dass ihre Tangenten im Schnittpunkt einen Winkel von weniger als 90 Grad betragen. Befinden sich die Kreise ineinander, dann liegt kein statistisch signifikanter Unterschied vor. Ein Winkel von genau 90 Grad stellt eine grenzwertige Signifikanz dar. Die Kreisgröße drückt den Bereich des 95%-Konfidenzintervalls aus (siehe *JMP® Introductory Guide, Version 10*). Ein statistisch signifikantes und tendenzielles Ergebnis wird in der Grafik zusätzlich durch den dazugehörigen *p*-Wert kenntlich gemacht.

In Tabelle 4.11 ist ein Beispiel für die tabellarische Darstellung der Ergebnisse beider Tests (Trainingseffekt und Differenzvergleich) gegeben. Der obere Teil der Tabelle *Trainingseffekte* zeigt das Ergebnis der statistischen Prüfung des Trainingseffekts der jeweiligen Gruppe (Patienten, Kontrollen). Der untere Teil der Tabelle *Vergleich Trainingseffekte* fasst die Ergebnisse der Prüfung der Differenzen (NT - VT) zwischen den Gruppen zusammen. In dieser, sowie in allen weiteren Tabellen, wird die Standardabweichung mit *Stabw.* abgekürzt. Zur besseren Übersicht sind die *p*-Werte von statistisch signifikanten Ergebnissen in roter Schrift dargestellt.

Tabelle 4.11: Beispiel Ergebnistabelle

Trainingseffekte								
<b>vGAIT</b> [m/s]	<b>Mittelwert</b> ± Stabw. <b>VT</b>	<b>Mittelwert</b> ± Stabw. <b>NT</b>	<b>Differenz</b> $\Delta$	<b>t-Wert</b>	<b>Freiheits-</b> <b>grade</b>	<b>90% Kon-</b> <b>fidenzin-</b> <b>tervall</b> <b>obere</b> <b>Grenze</b>	<b>90% Kon-</b> <b>fidenzin-</b> <b>tervall</b> <b>untere</b> <b>Grenze</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Patienten</b>	1,21 ± 0,18	1,23 ± 0,21	0,02	0,6	17	0,06	-0,03	0,28
<b>Kontrollen</b>	1,28 ± 0,11	1,32 ± 0,09	0,04	2,0	17	0,07	0,005	0,03
Vergleich Trainingseffekte								
<b>vGAIT</b> [m/s]	<b>Mittelwert</b> ± Stabw. <b>Patienten</b>	<b>Mittelwert</b> ± Stabw. <b>Kontrollen</b>	<b>Differenz</b> $\Delta$	<b>t-Wert</b>	<b>Freiheits-</b> <b>grade</b>	<b>95% Kon-</b> <b>fidenzin-</b> <b>tervall</b> <b>obere</b> <b>Grenze</b>	<b>95% Kon-</b> <b>fidenzin-</b> <b>tervall</b> <b>untere</b> <b>Grenze</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Differenz</b> <b>NT-VT</b> [m/s]	0,02 ± 0,11	0,04 ± 0,08	-0,02	-0,63	34	0,04	-0,08	0,54

Die beiden statistischen Tests wurden grafisch getrennt dargestellt, um zum Einen die Übersichtlichkeit der Ergebnisdarstellung zu gewährleisten, und zum Anderen über die Darstellung der Messpaare im *paired t*-Test systematische Bias erkennen zu können.

Aus verschiedenen Gründen kann die Probandenzahl zwischen den verschiedenen Messmethoden variieren. Die Ursache dafür sind Dropouts aufgrund von beispielsweise nicht Erreichen von Leistungsschwellen oder Schmerzen während der Messung. Alle Dropouts werden hierfür gesondert in den jeweiligen Ergebnisdarstellungen benannt und begründet. Die anthropometrischen Daten der Gruppen werden dementsprechend in den Ergebnisdarstellungen der einzelnen Methoden erneut aufgelistet.

## 5 Ergebnisse

Auf den statistischen Gruppenvergleich der Leistungen zum Zeitpunkt VT (vor Training) als Basiswert wurde in der vorliegenden Arbeit aus zwei Gründen verzichtet: 1. Die Leistungsunterschiede zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollen sind in der Literatur bereits hinreichend beschrieben (siehe Kapitel 3.3), 2. Die Gruppen sind geschlechtlich ungleich verteilt, so dass ein Geschlechter-Bias entsteht. Dieser macht einen Gruppenvergleich nur eingeschränkt möglich. Im Vordergrund der Dissertation steht der Effekt des 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainings auf die Symptomatik und die Leistung der Parkinsonpatienten. Die Kontrollgruppe wird trotz der bestehenden Geschlechterverteilung grafisch und statistisch dargestellt, um zumindest einen annähernden Anhaltspunkt darüber zu bekommen, ob die Patienten ähnlich trainierbar sind wie gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen. Diese Frage ist jedoch sekundär, die Aussagekraft dieser Ergebnisse ist entsprechend eingeschränkt.

In der Folge werden die beiden Probandengruppen in allen grafisch dargestellten Ergebnissen farblich unterschieden: Parkinsonpatienten sind in rot dargestellt, gesunde Kontrollpersonen in blau. Statistisch signifikante Ergebnisse sind in den Tabellen rot markiert.

### 5.1 Gesamtstichprobe

In Tabelle 5.1 sind die anthropometrischen Daten der Gesamtstichprobe aufgelistet.

Tabelle 5.1: Gesamtstichprobe

	<b>Patienten (n=18)</b>	<b>Kontrollen (n=18)</b>
Alter [Jahre]	67 ± 6	66 ± 6
Größe [cm]	172,2 ± 8,6	168,1 ± 10,4
Gewicht [kg]	82,0 ± 15,2	76,8 ± 12,9
Geschlecht	4 ♀, 14 ♂	10 ♀, 8 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	2,1 ± 0,2	-
UPDRS Motorik [Score]	28,9 ± 8,1	-
Krankheitsdauer [Jahre]	5,4 ± 4,0	-

Wie Tabelle 5.1 zeigt, sind die Parkinsonpatienten und Kontrollen in Gruppengröße, Alter und Körpergröße vergleichbar. Die Probanden in der Kontrollgruppe sind im Mittel 1 Jahr jünger, 2,3 % größer und 6,3 % leichter als die Patientengruppe, diese Unterschiede sind statistisch nicht signifikant. Dagegen besteht zwischen den Gruppen eine ungleiche Geschlechterverteilung: Während sich in der

Patientengruppe 14 Männer und 4 Frauen befinden, besteht die gesunde Kontrollgruppe aus 8 Männer und 10 Frauen. Die Patientengruppe weist ein mittleres Hoehn & Yahr Stadium von  $2,1 \pm 0,2$  auf (Range: Hoehn & Yahr 2 - 2,5) und erreicht im Mittel  $28,9 \pm 8,1$  Punkte in der UPDRS III (Motorik) (Range: UPDRS 14 - 43 Punkte). Die Krankheitsdauer beträgt durchschnittlich  $5,4 \pm 4,0$  Jahre (Range: Krankheitsdauer 1 - 17 Jahre).

## 5.2 UPDRS Score

### 5.2.1 Stichprobe

Die Stichprobe für die Auswertung des UPDRS Scores entspricht der Patientenstichprobe, die in Tabelle 5.1 aufgeführt ist.

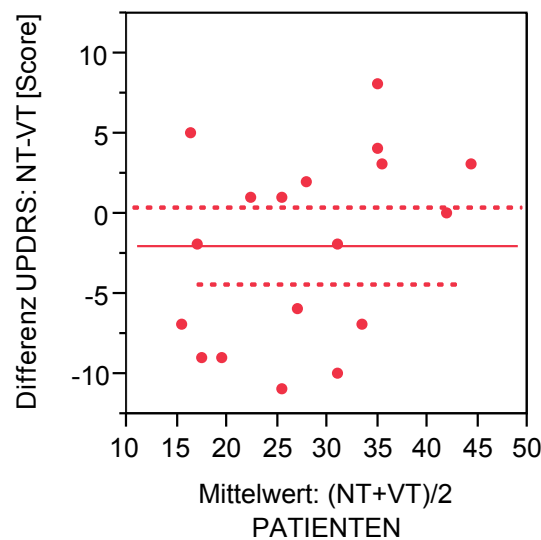
### 5.2.2 UPDRS Score

#### Trainingseffekt *UPDRS Motor Score*

Vor Trainingsbeginn erreichten die Patienten einen mittleren UPDRS Score von  $29 \pm 8$  Punkten, der sich nach Trainingsende auf  $27 \pm 10$  Punkte reduzierte. In Abbildung 5.1 und Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse grafisch und numerisch dargestellt. Mit einem p-Wert von 0,08 ist eine klare Tendenz zur Verbesserung der Symptomatik zu erkennen. Mindestens bei sieben Patienten hat sich die Symptomatik am Ende des Trainings deutlich verbessert, während neun Patienten ihren UPDRS Score nicht veränderten oder leicht verschlechterten. Dahingegen verschlechterten sich zwei Patienten nach dem Training deutlich. Auffallend ist die große Streuung der Ergebnisse, die durch die dargestellten, weit aufgefächerten Grenzen des 90%-Konfidenzintervalls zusätzlich verdeutlicht wird.

Tabelle 5.2: Trainingseffekt *UPDRS*

Trainingseffekte								
UPDRS [Score]	Mittelwert $\pm$ Stabw. VT	Mittelwert $\pm$ Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Kon- fidenzin- tervall obere Grenze	90% Kon- fidenzin- tervall untere Grenze	p- Wert
Patienten	$29 \pm 8$	$27 \pm 10$	-2	-1,5	17	0,4	-4,4	0,08

Abbildung 5.1: Trainingseffekt *UPDRS Motor Score*

## 5.3 3D Kinematik

### 5.3.1 Stichprobe

Die Stichproben für die Auswertung der 3D Kinematik entspricht den Angaben aus Tabelle 5.1. Das Training konnte von allen aufgeführten Probanden beendet und die 3D Kinematik Messung erfolgreich durchgeführt werden.

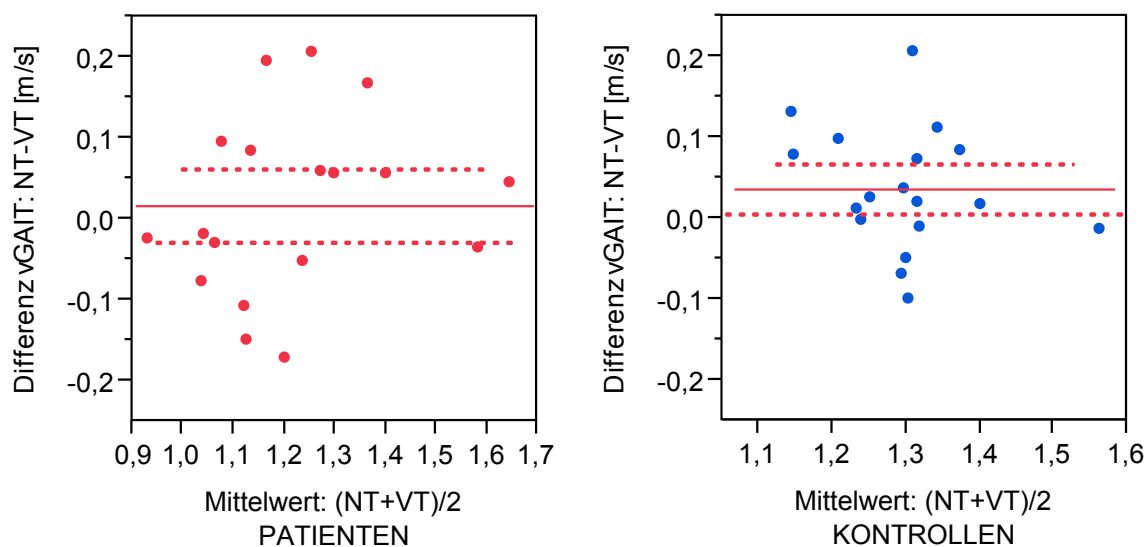
### 5.3.2 Gehen

#### 5.3.2.1 Gehgeschwindigkeit

##### Trainingseffekte *Gehgeschwindigkeit*

In Abbildung 5.2 und Tabelle 5.3 sind die Trainingseffekte der beiden Gruppen in der Gehgeschwindigkeit dargestellt. Während die Patienten mit einer durchschnittlichen Erhöhung um 0,02 m/s keine statistisch relevante Veränderung erzielten, erhöhte sich die Gehgeschwindigkeit in der Kontrollgruppe statistisch signifikant um durchschnittlich 0,04 m/s ( $p = 0,03$ ). Wie in den Abbildungen zu sehen ist, erreichen fünf Patienten nach Training eine deutliche Verbesserung der Gehgeschwindigkeit und damit das Leistungsniveau der Kontrollen (siehe Tabelle 5.3), während ebenfalls fünf Patienten nach Training ihre Leistung deutlich verringerten. Auch in der Kontrollgruppe ist eine hohe Streuung der Ergebnisse zu sehen, diese ist jedoch nicht so stark wie die der Patientengruppe.



Abbildung 5.2: Trainingseffekte *Gehgeschwindigkeit*

Im statistischen Vergleich der Trainingseffekte unterscheiden sich die Gruppen im Mittelwert nicht (siehe Abbildung 5.3 und Tabelle 5.3). Die höhere Streuung der Daten in der Patientengruppe ist in der grafischen Darstellung nochmals deutlich zu erkennen.

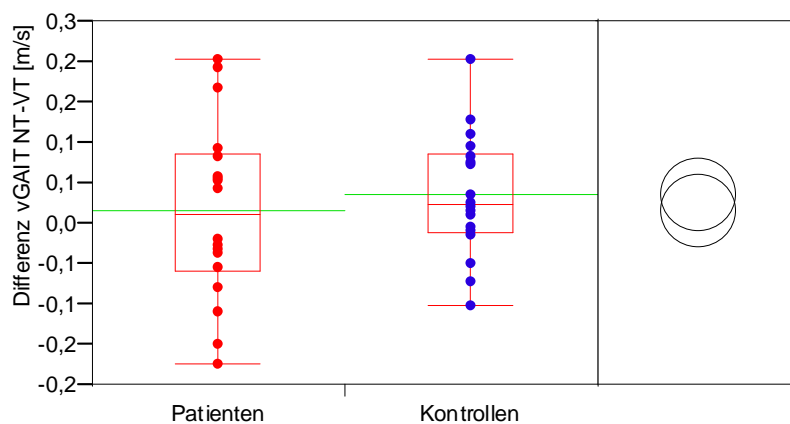
Abbildung 5.3: Vergleich Trainingseffekte *Gehgeschwindigkeit*

Tabelle 5.3: Trainingseffekte Gehgeschwindigkeit

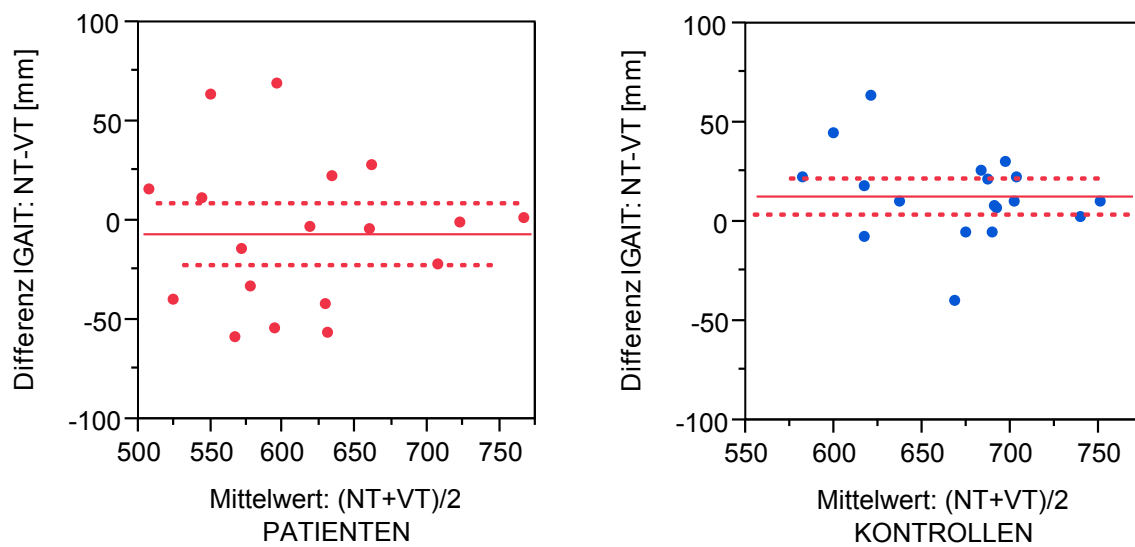
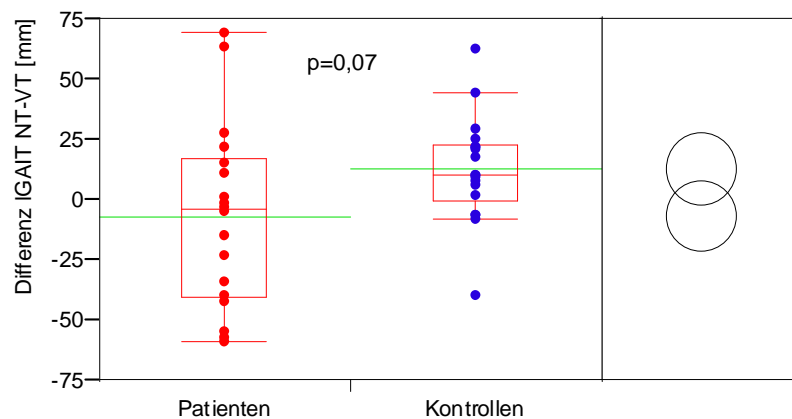
Trainingseffekte								
vGAIT [m/s]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	1,21 ± 0,18	1,23 ± 0,21	0,02	0,6	17	0,06	-0,03	0,28
Kontrollen	1,28 ± 0,11	1,32 ± 0,09	0,04	2,0	17	0,07	0,005	0,03
Vergleich Trainingseffekte								
vGAIT [m/s]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [m/s]	0,02 ± 0,11	0,04 ± 0,08	-0,02	-0,63	34	0,04	-0,08	0,54

### 5.3.2.2 Schrittlänge

#### Trainingseffekte Schrittlänge

In Abbildung 5.4 und Tabelle 5.4 sind die Trainingseffekte der beiden Gruppen auf die Schrittlänge dargestellt. Wie in Tabelle 5.4 zu erkennen ist, gehen die Patienten vor Trainingsbeginn mit deutlich kürzeren Schritten als die Kontrollen. Eine Erhöhung der Schrittlänge würde für die Patienten entsprechend eine Verbesserung bedeuten. Diese erzielten jedoch nach dem 12-wöchigen NW-Training im Mittelwert keine Veränderung (Differenz -6,7 mm), während sich die durchschnittliche Schrittlänge in der Kontrollgruppe statistisch signifikant ( $p=0,01$ ) um 12,9 mm verlängerte. In Abbildung 5.4 ist zu erkennen, dass die Mehrheit der Patienten nach Training eher eine Verkürzung der Schritte zeigten, teilweise sogar bis *ca.* 50 mm. Allerdings sind auch zwei Patienten dabei, die ihre Schrittlänge annähernd bis auf das Niveau der Kontrollen verbesserten. Beide Gruppen streuen in ihren Ergebnissen relativ hoch, wobei an den 90%-Konfidenzintervallgrenzen unter anderem zu sehen ist, dass die Streuung in der Patientengruppe höher ist als in der Kontrollgruppe.

Bei dem Gruppenvergleich der Trainingseffekte ist eine klare Tendenz zu beobachten, die einen Gruppenunterschied in der Trainingsanpassung vermuten lässt ( $p=0,07$ ) (siehe Abbildung 5.5). Eine hohe Variabilität der Patientengruppe ist wiederum deutlich zu erkennen.

Abbildung 5.4: Trainingseffekte *Schrittweite*Abbildung 5.5: Vergleich Trainingseffekte *Schrittweite*

### 5.3.2.3 Schrittweite

#### Trainingseffekte *Schrittweite*

Die Trainingseffekte hinsichtlich der Schrittweite in beiden Gruppen sind in Abbildung 5.6 und Tabelle 5.5 dargestellt. Wie in der Tabelle zu sehen ist, gingen die Patienten vor dem Training (VT) im Durchschnitt mit einer größeren Schrittweite als die Kontrollen. Entsprechend würde eine Verringe-

Tabelle 5.4: Trainingseffekte *Schrittlänge*

Trainingseffekte								
IGAIT [mm]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	618,5 ± 73,0	611,8 ± 72,6	-6,7	-0,75	17	9,0	-22,3	0,77
Kontrollen	663,6 ± 51,4	676,4 ± 45,1	12,9	2,47	17	22,0	3,8	0,01
Vergleich Trainingseffekte								
IGAIT [mm]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [mm]	-6,7 ± 38,1	12,9 ± 22,1	-19,6	-1,9	34	1,5	-40,6	0,07

rung der Schrittbreite eine Verbesserung des Gangbildes bedeuten. Bei den Patienten veränderte sich die Schrittbreite im Mittel jedoch nicht, während die Kontrollen durchschnittlich sogar eine leichte Erhöhung der Schrittbreite erzielten. Nur zwei Patienten erzielten nach dem Training ungefähr die Schrittbreite der Kontrollen (vergl. Tabelle 5.5), während im Gegensatz dazu zwei Kontrollpersonen die erhöhte Schrittbreite der Patienten erreichen. Die Streuung der Daten ist in beiden Gruppen hoch, wobei die Variabilität der Patientendaten höher ist, als die der Kontrollen.

Im Gruppenvergleich der Trainingseffekte ist zu sehen, dass sich die Patienten und Kontrollen im Mittelwert statistisch nicht unterscheiden. Neben der bereits erwähnten hohen Variabilität der Ergebnisse in der Patientengruppe sind in Abbildung 5.7 ebenfalls einzelne Patienten erkennbar, die sich durch das Training in der Schrittbreite deutlich verbesserten, rechnerisch bis ungefähr auf die mittlere Schrittbreite der Kontrollpersonen (vergl. Tabelle 5.5).

#### 5.3.2.4 Zusammenfassung Gehen

Das 12-wöchige NW-Training beeinflusste die Geschwindigkeit, die Schrittlänge und die Schrittbreite des *Gehens* in der Patientengruppe im Durchschnitt nicht, während die Kontrollgruppe ihre Gehgeschwindigkeit und Schrittlänge im Mittel statistisch signifikant verbesserte, und die Schrittbreite leicht erhöhte. Auffallend in allen Messgrößen ist die hohe Streuung der Daten in der Patientengruppe.

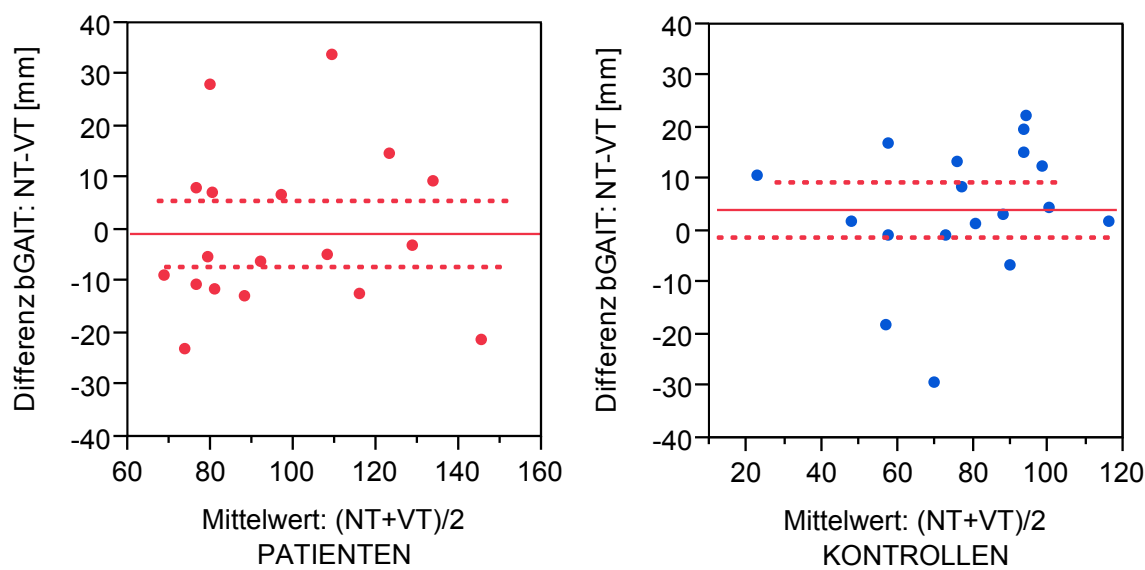


Abbildung 5.6: Trainingseffekte *Schrittbreite*

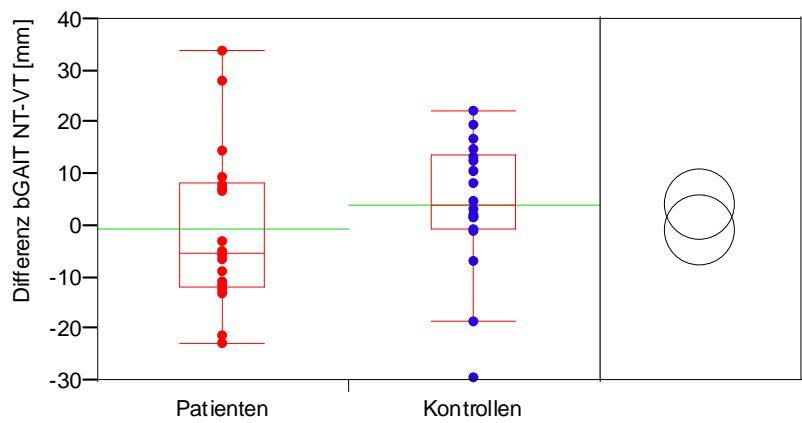


Abbildung 5.7: Vergleich Trainingseffekte *Schrittbreite*

Tabelle 5.5: Trainingseffekte *Schrittbreite*

Trainingseffekte								
<b>bGAIT</b> [mm]	Mittelwert ± Stabw. <b>VT</b>	Mittelwert ± Stabw. <b>NT</b>	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	98,1 ± 24,4	97,4 ± 25,3	-0,7	-0,2	17	5,7	-7,1	0,42
<b>Kontrollen</b>	75,5 ± 22,4	79,7 ± 24,8	4,2	1,4	17	9,5	-1,2	0,91
Vergleich Trainingseffekte								
<b>bGAIT</b> [mm]	Mittelwert ± Stabw. <b>Patienten</b>	Mittelwert ± Stabw. <b>Kontrollen</b>	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT</b> [mm]	-0,7 ± 15,6	4,2 ± 13,0	-4,9	-1,0	34	4,8	-14,6	0,31

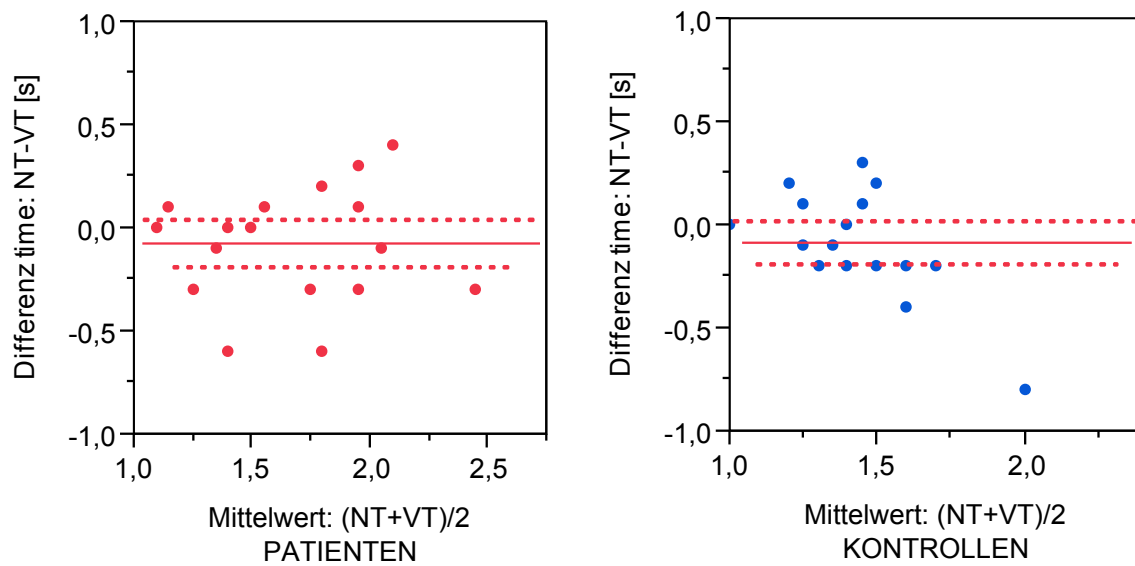
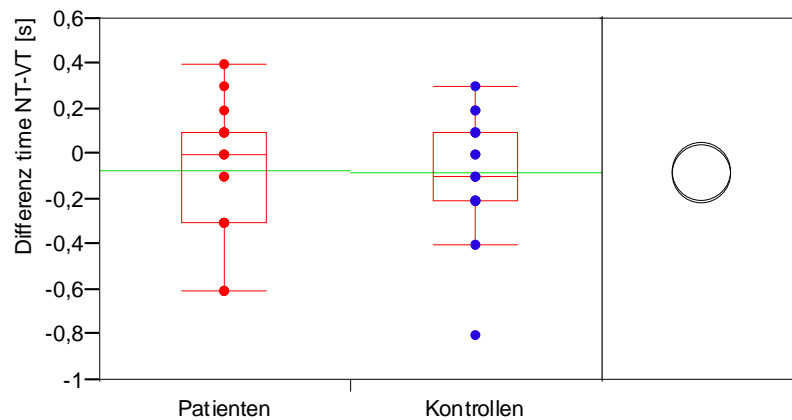
### 5.3.3 Aufstehen

#### 5.3.3.1 Gesamtzeit

##### Trainingseffekte *Gesamtzeit*

Nach dem 12-wöchigen NW-Training verringert sich in beiden Gruppen die Gesamtaufstehzeit durchschnittlich um 0,07 s bei den Patienten und 0,08 s bei den Kontrollen, wie Abbildung 5.8 und Tabelle 5.6 darlegen. Dadurch zeigen beide Gruppen eine Tendenz zu einer Verbesserung der Aufstehleistung, die sich bei den Patienten statistisch nicht, jedoch bei den Kontrollen statistisch tendenziell auswirkt ( $p=0,09$ ). Wie in der Abbildung zu sehen ist, sind sechs Patientenpunkte unterhalb der unteren 90%-Konfidenzintervallgrenze und verbessern sich um mehr als 0,2 s. Damit erreichen diese sechs Patienten eine ähnliche Leistung in der Gesamtaufstehzeit wie die Kontrollen (vergl. Tabelle 5.6), während die anderen Patienten keine Veränderung oder eine Erhöhung der Gesamtzeit erzielten. In der Summe variieren die Patienten in ihren Ergebnissen etwas höher als die Gesunden.

Im Vergleich der durchschnittlichen Leistungsdifferenzen nach Training unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht, wie Abbildung 5.9 verdeutlicht.

Abbildung 5.8: Trainingseffekte *Gesamtzeit*Abbildung 5.9: Vergleich Trainingseffekte *Gesamtzeit*

### 5.3.3.2 Zeit Phase 2

#### Trainingseffekte *Zeit Phase 2*

Das NW-Trainingsprogramm hat in beiden Gruppen statistisch keine Veränderung für die Zeit der Phase 2 bewirkt (siehe Abbildung 5.10 und Tabelle 5.7). Allerdings zeigen sich in beiden Gruppen

Tabelle 5.6: Trainingseffekte Gesamtzeit

Trainingseffekte								
time [s]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	1,7 ± 0,4	1,6 ± 0,4	-0,07	-1,1	17	0,04	-0,19	0,15
Kontrollen	1,5 ± 0,3	1,4 ± 0,2	-0,08	-1,4	17	0,02	-0,19	0,09
Vergleich Trainingseffekte								
time [s]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [s]	-0,07 ± 0,3	-0,08 ± 0,3	0,01	0,1	34	0,2	-0,2	0,90

extreme Ausreisser. In der Patientengruppe hat sich bei zwei Patienten die Zeit der Phase 2 deutlich verlängert, während sie sich bei drei Patienten erheblich verkürzt hat. Ähnliches zeigt sich in der Kontrollgruppe in abgeschwächter Form.

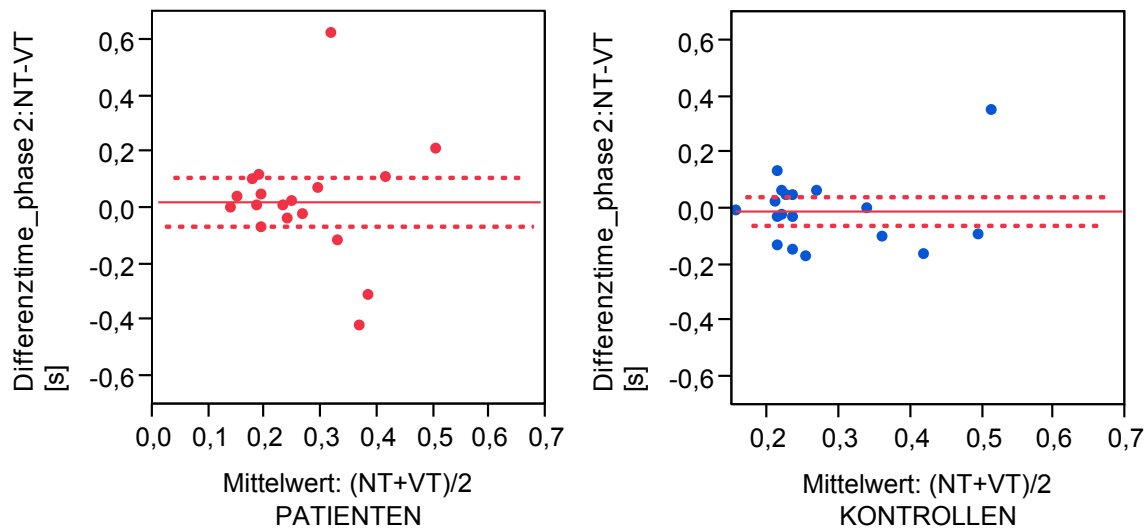


Abbildung 5.10: Trainingseffekte Zeit Phase 2

Wie Abbildung 5.11 aufzeigt, unterscheiden sich die beiden Gruppen in der Trainingsanpassung nicht. Abgesehen von den Ausreissern streuen die Daten in beiden Gruppen relativ ähnlich.



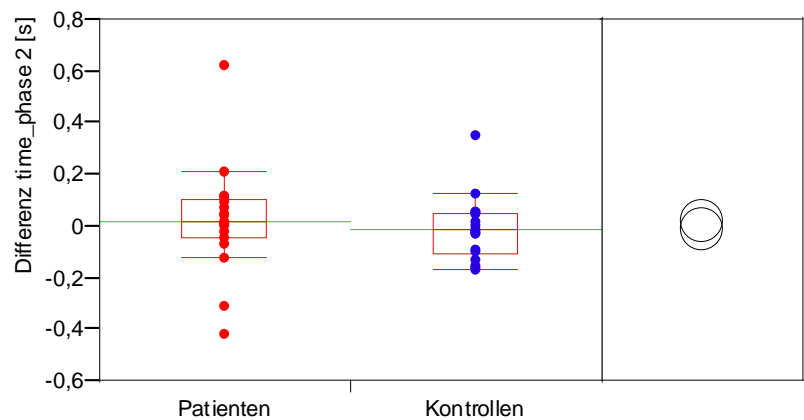


Abbildung 5.11: Vergleich Trainingseffekte *Zeit Phase 2*

Tabelle 5.7: Trainingseffekte *Zeit Phase 2*

Trainingseffekte								
time phase 2 [s]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	0,26 ± 0,15	0,28 ± 0,14	0,02	0,4	17	0,11	-0,07	0,66
Kontrollen	0,28 ± 0,11	0,28 ± 0,13	-0,01	-0,3	17	0,04	-0,06	0,38
Vergleich Trainingseffekte								
time phase 2 [s]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [s]	0,02 ± 0,2	-0,01 ± 0,1	0,03	0,5	34	0,15	-0,09	0,60

### 5.3.3.3 Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal

#### Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal*

In der maximalen horizontalen Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes beim Aufstehen sind in beiden Gruppen im Durchschnitt keine Veränderungen nach Training zu beobachten (siehe Abbildung 5.12 und Tabelle 5.8). Zwar erhöhen sich die Geschwindigkeiten in beiden Gruppen um 0,2 km/h, was jedoch keine statistische Relevanz hat. Wie in der Tabelle zu erkennen ist, sind die Patienten vor Training durchschnittlich 0,6 km/h langsamer als die Kontrollen. Entsprechend verbessern sich nach Abbildung 5.12 maximal fünf Patienten auf das Leistungsniveau der Gesunden vor Training, während ebenfalls fünf Patienten deutlich ihre Leistung verringerten. In der Kontrollgruppe sind zwei Ausreisser zu beobachten, eine Kontrollperson erhöhte nach Training die horizontale Geschwindigkeit beim Aufstehen, während sich eine Person überdurchschnittlich verlangsamte. Ansonsten ist die Streuung der Ergebnisse in beiden Gruppen ähnlich.

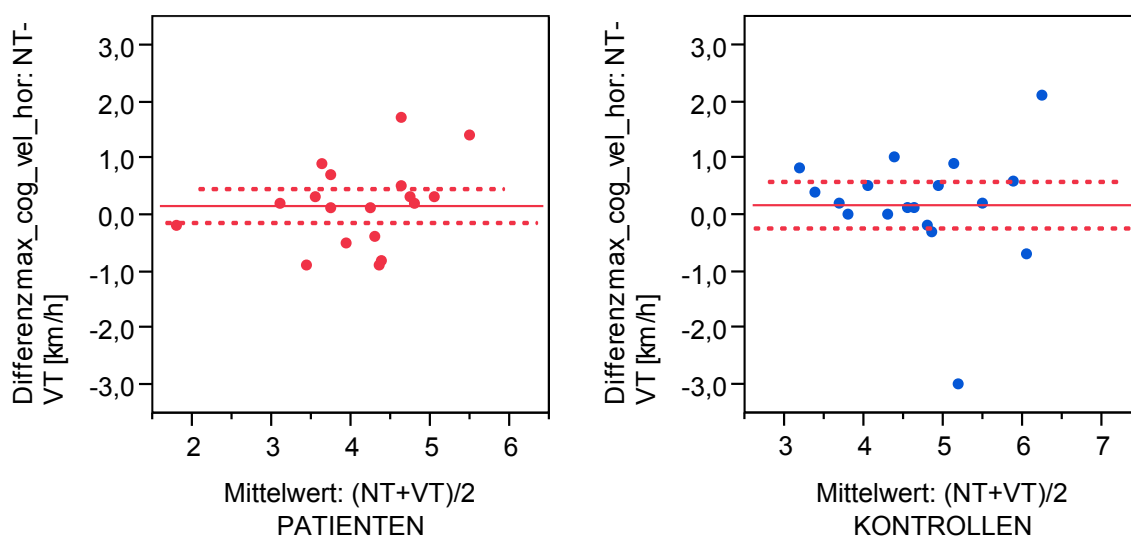


Abbildung 5.12: Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal*

Wie Abbildung 5.13 zeigt, unterscheiden sich die Gruppen in der Trainingsanpassung nicht. Auffallend sind die beiden Ausreisser in der Kontrollgruppe.

### 5.3.3.4 Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal

#### Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal*

Das Training hatte keinen Einfluss auf die vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes in beiden Gruppen, wie in Abbildung 5.14 und Tabelle 5.9 zu beobachten ist. Wie in der Tabelle zu

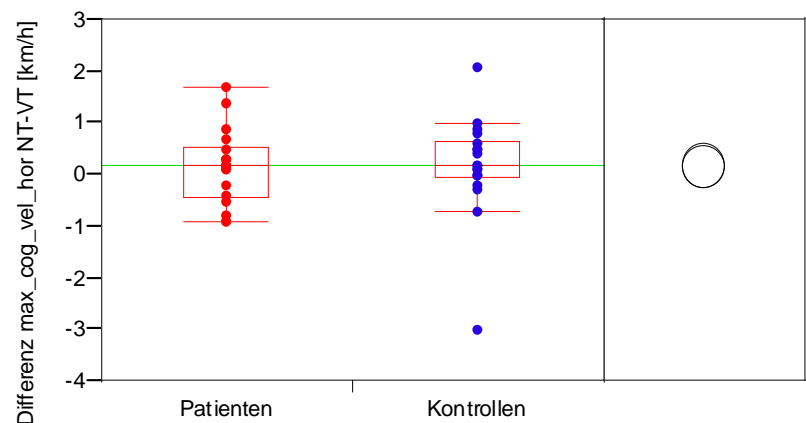


Abbildung 5.13: Vergleich Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal*

Tabelle 5.8: Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt horizontal*

Trainingseffekte								
max cog vel hor [km/h]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheitsgrade	90% Konfidenzintervall obere Grenze	90% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	4,0 ± 0,8	4,2 ± 1,0	0,2	1,0	17	0,5	-0,1	0,17
Kontrollen	4,6 ± 1,0	4,8 ± 1,0	0,2	0,8	17	0,6	-0,2	0,23
Vergleich Trainingseffekte								
max cog vel hor [km/h]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheitsgrade	95% Konfidenzintervall obere Grenze	95% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [km/h]	0,2 ± 0,7	0,2 ± 1,0	-0,01	-0,04	34	0,6	-0,6	0,97

erkennen ist, bewegen sich die Kontrollen in der vertikalen Richtung um ca. 1,4 km/h schneller als die Patienten. Entsprechend ist in der Abbildung nur ein Patient zu erkennen, der die durchschnittliche Leistung der Kontrollen vor Training erreicht. Alle anderen blieben in ihrer Geschwindigkeit gleich

oder verringerten diese. Auffallend ist in der Kontrollgruppe ein extremer Ausreisser, der sich nach Trainingsende um über 6 km/h langsamer bewegt als vor Trainingsbeginn. Ansonsten streuen die Daten in beiden Gruppen ähnlich.

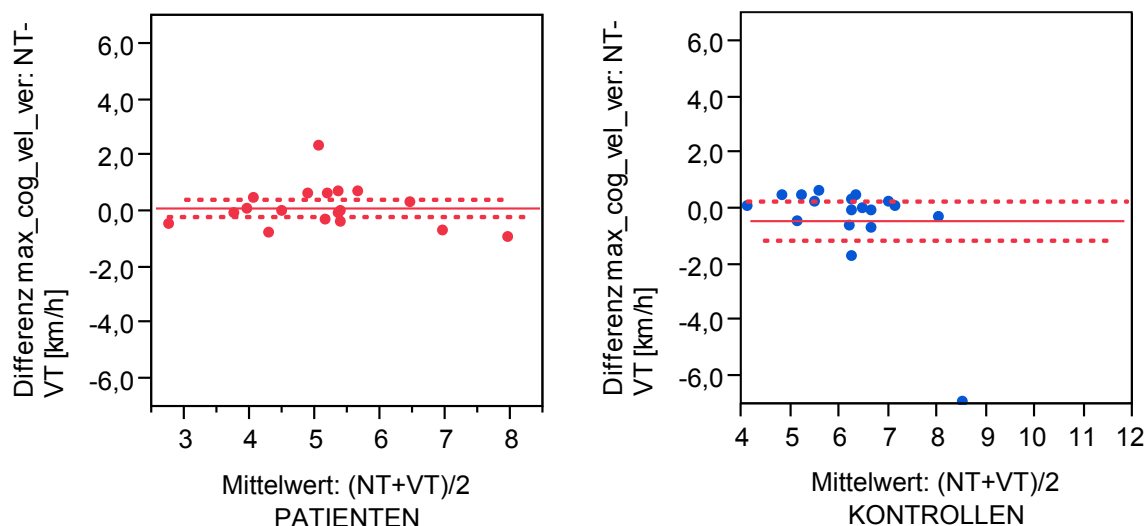


Abbildung 5.14: Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal*

Die Trainingsanpassung von  $0,1 \pm 0,8$  km/h in der Patientengruppe und  $-0,4 \pm 1,7$  km/h in der Kontrollgruppe zeigen statistisch keinen Gruppenunterschied (siehe Abbildung 5.15). Auch in der Variabilität der Ergebnisse unterscheiden sich die Gruppen mit Ausnahme von jeweils einem Ausreisser nicht.

### 5.3.3.5 Maximaler Hüftbeugewinkel

#### Trainingseffekte *Maximaler Hüftbeugewinkel*

Wie in Tabelle 5.10 zu sehen ist, erzielten die Patienten vor Training durchschnittlich einen größeren Winkel als die Kontrollen, das bedeutet, dass sich die Patienten beim Aufstehen mehr nach vorne neigen als die Gesunden. Entsprechend würde eine Verringerung des Hüftwinkels eine Verbesserung der Aufstehleistung bedeuten. Mit Differenzen von  $-0,1^\circ$  in der Patientengruppe und  $1,9^\circ$  in der Kontrollgruppe wird jedoch von keiner Gruppe eine durchschnittliche Verbesserung erreicht (siehe Abbildung 5.16). Allerdings ist die Datenstreuung in beiden Gruppen sehr hoch: In der Patientengruppe werden Winkelveränderungen bis zu  $13^\circ$ , in der Kontrollgruppe bis zu  $20^\circ$  in die positive wie auch in die negative Richtung erreicht. Bei den Patienten erreichten nur vier Personen den durchschnittlichen Hüftwinkel der Kontrollen, während sich bei vier weiteren Patienten der Hüftbeugewinkel deutlich vergrößerte. In der Kontrollgruppe vergrößerten fünf Personen den Hüftwinkel deutlich, während zwei Personen diesen deutlich verringerten.

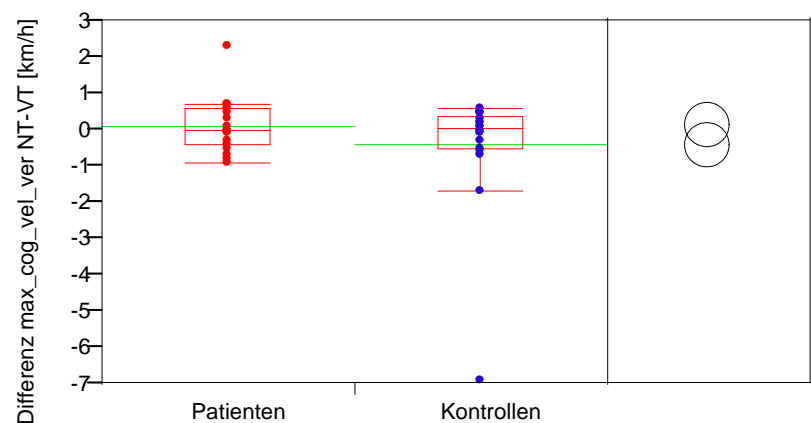
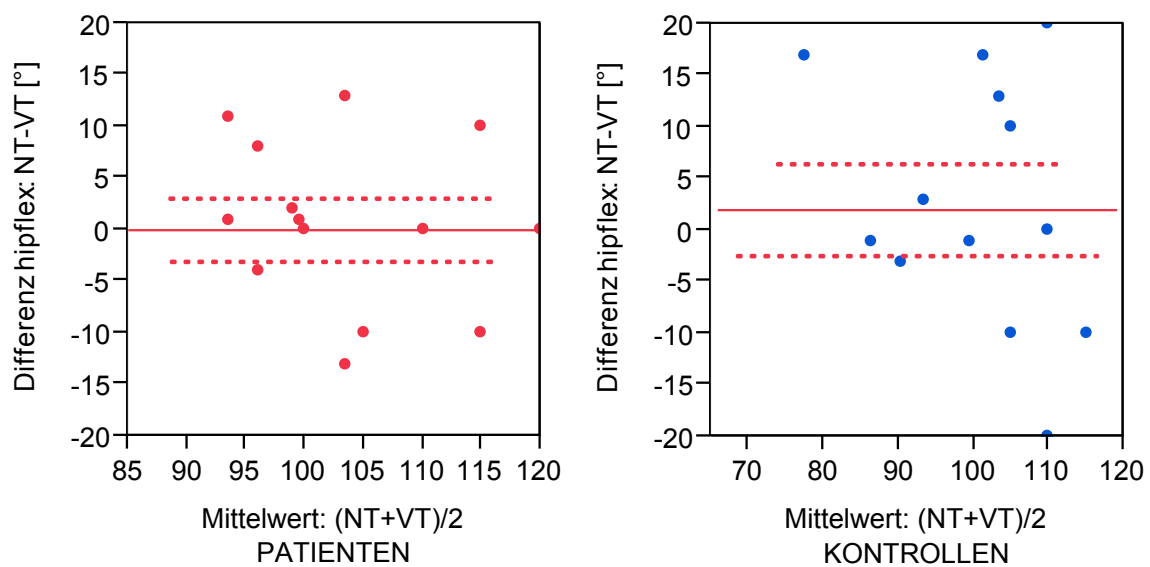
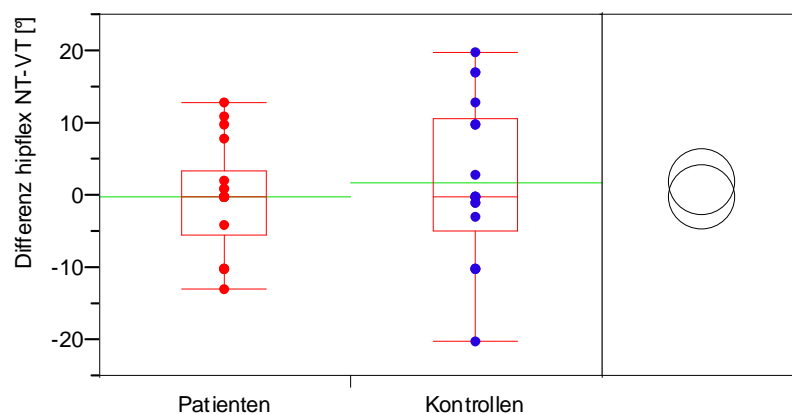


Abbildung 5.15: Vergleich Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal*

Tabelle 5.9: Trainingseffekte *Maximale Geschwindigkeit Körperschwerpunkt vertikal*

Trainingseffekte								
max cog vel ver [km/h]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheitsgrade	90% Konfidenzintervall obere Grenze	90% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	5,1 ± 1,3	5,2 ± 1,2	0,1	0,6	17	0,4	-0,2	0,27
Kontrollen	6,5 ± 1,7	6,0 ± 0,9	-0,4	-1,1	17	0,3	-1,1	0,85
Vergleich Trainingseffekte								
max cog vel ver [km/h]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheitsgrade	95% Konfidenzintervall obere Grenze	95% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT [s]	0,1 ± 0,8	-0,4 ± 1,7	0,6	1,3	34	1,4	-0,3	0,22

Wie in Abbildung 5.17 gut zu erkennen ist, sind zwischen den Gruppen durchschnittlich keine Unterschiede in der Trainingsanpassung zu beobachten. Die große Datenstreuung in beiden Gruppen ist nochmals gut zu erkennen, wobei die in der Kontrollgruppe überwiegt.

Abbildung 5.16: Trainingseffekte *Maximaler Hüftbeugewinkel*Abbildung 5.17: Vergleich Trainingseffekte *Maximaler Hüftbeugewinkel*

### 5.3.3.6 Zusammenfassung *Aufstehen*

Das *Nordic Walking* Trainingsprogramm führte in den untersuchten Messgrößen zum Aufstehen zu keinen Veränderungen. Es konnte lediglich eine tendenzielle Verringerung der Gesamtzeit in der Kontrollgruppe beobachtet werden. Die Variabilität der Daten ist in der Summe in beiden Gruppen ähnlich hoch, mit folgenden Ausnahmen: In der Zeit Phase 2 zeigen die Patienten eine sehr hohe Variabilität der Ergebnisse, im Hüftwinkel variieren die gesunden Kontrollen mehr. Es konnten keine Unterschie-

Tabelle 5.10: Trainingseffekte *Maximaler Hüftbeugewinkel*

Trainingseffekte								
hipflex [°]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	104,2 ± 9,3	104,1 ± 8,0	-0,1	-0,03	17	3,0	-3,1	0,49
<b>Kontrollen</b>	101,7 ± 12,5	103,6 ± 9,7	1,9	0,8	17	6,4	-2,5	0,77
Vergleich Trainingseffekte								
hipflex [°]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT [°]</b>	0,1 ± 7,5	1,9 ± 10,8	-2,0	-0,7	34	4,3	-8,3	0,52

de in den gemittelten Trainingseffekten zwischen den beiden Gruppen beobachtet werden.

## 5.4 Isokinetische Kraftmessung

Die Probandenzahl in den einzelnen Arbeitsweisen variiert (Isometrie, Konzentrik, Exzentrik), da einzelne z.B. aufgrund von Schmerzen während dem Messvorgang ausgeschlossen werden mussten. In Tabelle 5.11 sind die einzelnen *Dropouts* aufgelistet. Die jeweiligen Stichproben sind entsprechend in der Darstellung der Ergebnisse nach Arbeitsweise aufgelistet.

Um die Trainingseffekte und den Gruppenvergleich der Trainingseffekte in der Oberschenkelkraft prüfen zu können, wurde in der Auswertung aufgrund der neurologischen Befundung bei den Patienten zwischen der *mehr betroffenen* und der *weniger betroffenen* Beinseite unterschieden. Bei den Kontrollpersonen wurde aufgrund deren Eigenangabe entsprechend zwischen der *dominanten* und der *nicht dominanten* Beinseite unterschieden.

Jedoch zeigen die Ergebnisse im Seitenvergleich, dass die Beinkraft unabhängig der eben genannten Zuordnungen sehr variabel ist, so dass sich Kraftunterschiede im Mittelwert aufheben. Dies ist in der Abbildung 5.18 für beide Gruppen exemplarisch dargestellt. Aus diesem Grund wurde der Mittelwert der Kraftwerte beider Beine zur statistischen Prüfung verwendet, um Informationsverlust zu vermeiden.

Tabelle 5.11: *Dropout Liste Isokinetische Kraftmessung*

Probanden-ID	Beinseite	Begründung
<i>Gesamt Isokinetische Kraftmessung</i>		
PSS06	beide	Muskelkrämpfe während Messung
PSS15	beide	Falsche Einstellung Hebellänge
<i>Isometrie</i>		
PSS05	links (weniger betroffen)	Nur submaximale Leistung durchgeführt
<i>Exzentrik</i>		
PSS14	rechts (dominant)	Schmerzen bei Extension
PSS19	rechts (mehr betroffen)	Koordinationsprobleme
PSS26	links (nicht dominant)	Schmerzen in der Wade
PSS31	links (nicht dominant)	Schmerzen im Oberschenkel

Um eine bessere Übersicht der Ergebnisse zu erzielen, sind alle numerischen Ergebnisse zu den Trainingseffekten gesammelt für alle Arbeitsweisen in 4 Tabellen aufgelistet: Die Trainingseffekte der beiden Gruppen in Tabelle 5.15, der statistische Gruppenvergleich der Trainingseffekte in Tabelle 5.16, die Trainingseffekte beider Beinseiten in der Patientengruppe in Tabelle 5.17 und der Differenzvergleich beider Beinseiten in Tabelle 5.18.

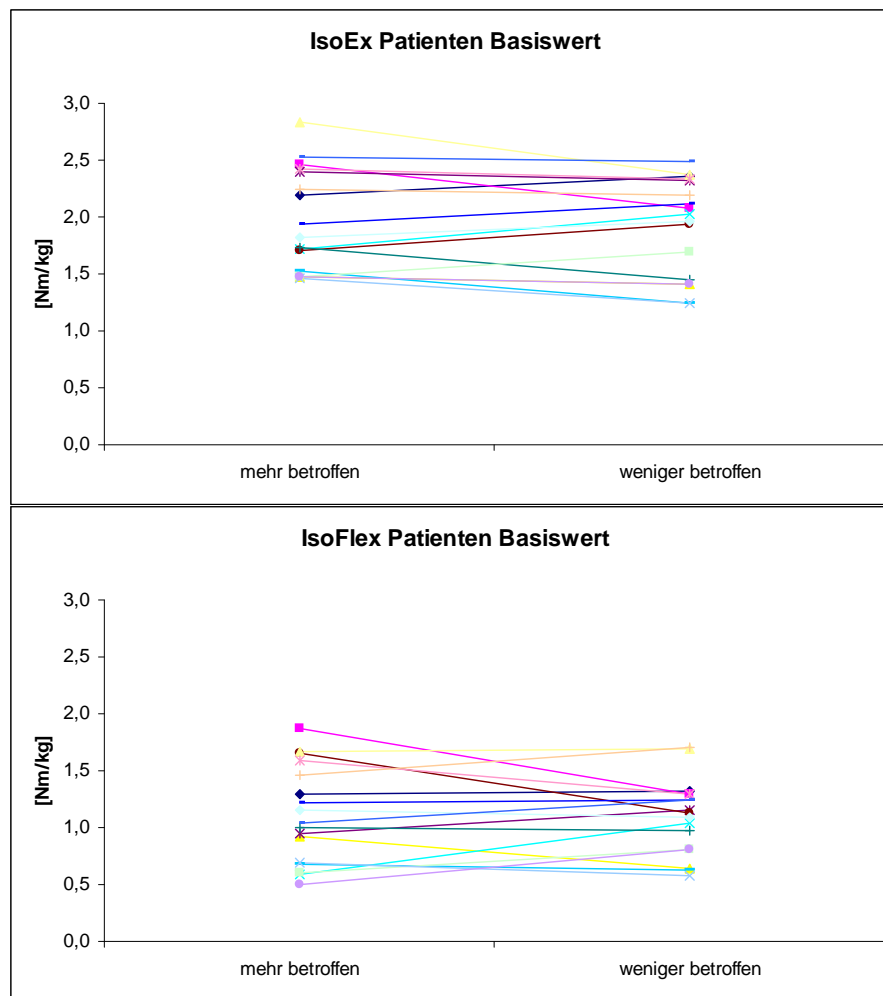
Wie in der Tabelle 5.15 anhand der Leistungen zum Zeitpunkt VT (vor Training) gesammelt zu sehen ist, zeigen die Patienten im Durchschnitt in den meisten Arbeitsweisen und Arbeitsrichtungen eine etwas höhere Oberschenkelkraft als die Gesunden. Möglicherweise liegt dies an der höheren Anzahl männlicher Probanden in der Patientengruppe. Auch im Kraftzuwachs spielt das Geschlecht eine Rolle, so dass der Vergleich des Trainingseffektes zwischend den Gruppen entsprechend eingeschränkt möglich ist und dies in der Interpretation der Ergebnisse zu beachten gilt.

## 5.4.1 Isometrie

### 5.4.1.1 Stichprobe *Isometrie*

Tabelle 5.12 fasst die anthropometrischen Daten der Stichproben zusammen, die der isometrische Maximalkraftmessung zugrunde liegen. Abgesehen von der ungleichen Geschlechterverteilung (Patienten: 4 ♀, 12 ♂, Kontrollen: 9 ♀, 8 ♂) unterscheiden sich die beiden Gruppen in Alter, Größe und Gewicht statistisch nicht. Die Kongrallgruppe ist im Mittel 1 Jahr jünger, 2,0 % kleiner und 5,6 % leichter als die Patientengruppe, die einen Hoehn & Yahr Status von  $2,1 \pm 0,2$  und einen UPDRS Score von  $28,4 \pm 7,9$  aufzeigen, sowie im Mittel seit  $5,3 \pm 4,2$  Jahren an Morbus Parkinson erkrankt sind.



Abbildung 5.18: Unterschied *Maximalkraft Beinseiten* PatientenTabelle 5.12: Stichproben *Isometrische Kraftmessung*

	<b>Patienten (n=16)</b>	<b>Kontrollen (n=17)</b>
Alter [Jahre]	67 ± 6	66 ± 6
Größe [cm]	172,0 ± 8,7	168,5 ± 10,6
Gewicht [kg]	80,9 ± 15,7	76,4 ± 13,1
Geschlecht	4 ♀, 12 ♂	9 ♀, 8 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	2,1 ± 0,2	-
UPDRS Motorik [Score]	28,4 ± 7,9	-
Krankheitsdauer [Jahre]	5,3 ± 4,2	-

### Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft*

Nach dem 12-wöchigen NW-Training ist in der Patientengruppe durchschnittlich eine statistisch signifikante Verbesserung der maximalen isometrischen Extension ( $p=0,05$ ) der Oberschenkelmuskulatur zu erkennen, während die Kontrollen im Mittel grafisch nur eine leichte Tendenz nach oben zeigen (siehe Abbildung 5.19). Zwei Patienten zeigen in der Abbildung im Vergleich zu den anderen Probanden einen großen Kraftzuwachs, während nur vier Patienten ihre Kraft verringerten. Die anderen zehn Patienten lassen einen homogenen Kraftzuwachs durch das Training erkennen. In der Kontrollgruppe haben sich ebenfalls zehn Probanden in ihrer isometrischen Oberschenkelkraft verbessert, allerdings auf einem niedrigeren Niveau als die Patienten, während sich die Kraft von sieben Kontrollpersonen nicht verändert oder verschlechtert hat. Die Streuung der Daten ist in der Kontrollgruppe etwas größer als in der Patientengruppe.

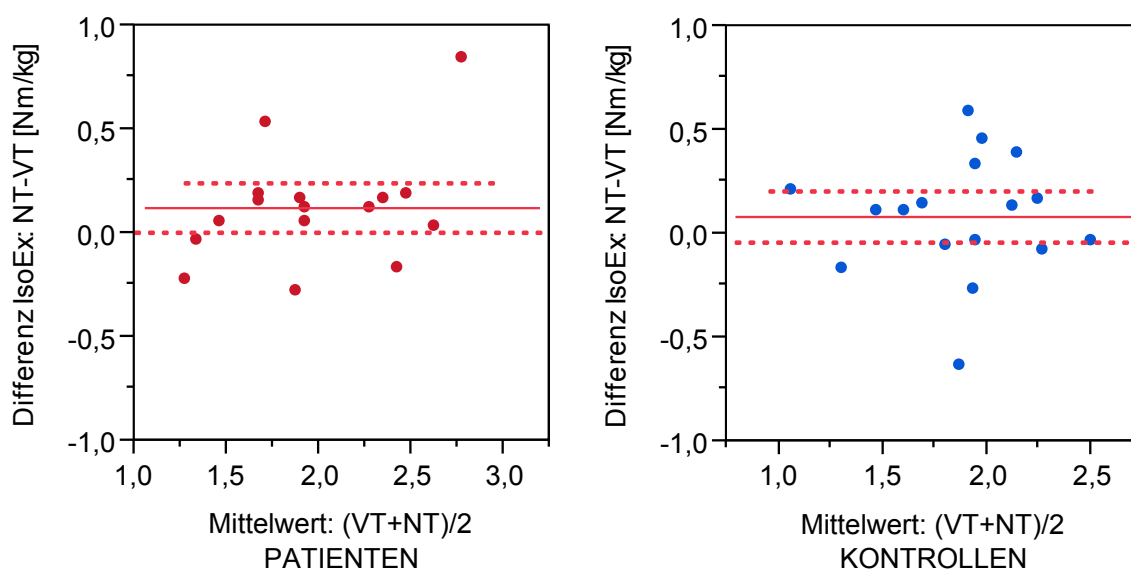


Abbildung 5.19: Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieextension*

Auch in der Knieflexion erzielten die Patienten im Durchschnitt eine statistisch signifikante Verbesserung der maximalen Kniebeugekraft ( $p=0,004$ ), während die Kontrollgruppe wiederum im Mittel nur eine leichte Tendenz nach oben erkennen lassen (siehe Abbildung 5.20). In der Patientengruppe erreichen neun Probanden eine Krafterhöhung, vier davon sehr hoch, unterdessen änderte sich die Kraft bei sieben Patienten nicht oder verschlechterte sich leicht. In der Kontrollgruppe erzielten neun Gesunde eine höhere Kraft nach Training, allerdings wiederum auf einem kleineren Zuwachsniveau als die Patienten, während sieben Kontrollen keine Veränderung oder eine teilweise deutliche Verringerung der Kraft nach dem Training zeigten. Beide Gruppen streuen in ihren Ergebnissen ähnlich hoch.

Im statistischen Vergleich der Trainingseffekte sind im Mittelwert der isometrischen Knieextension keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zu erkennen, wie Abbildung 5.21 verdeutlicht.

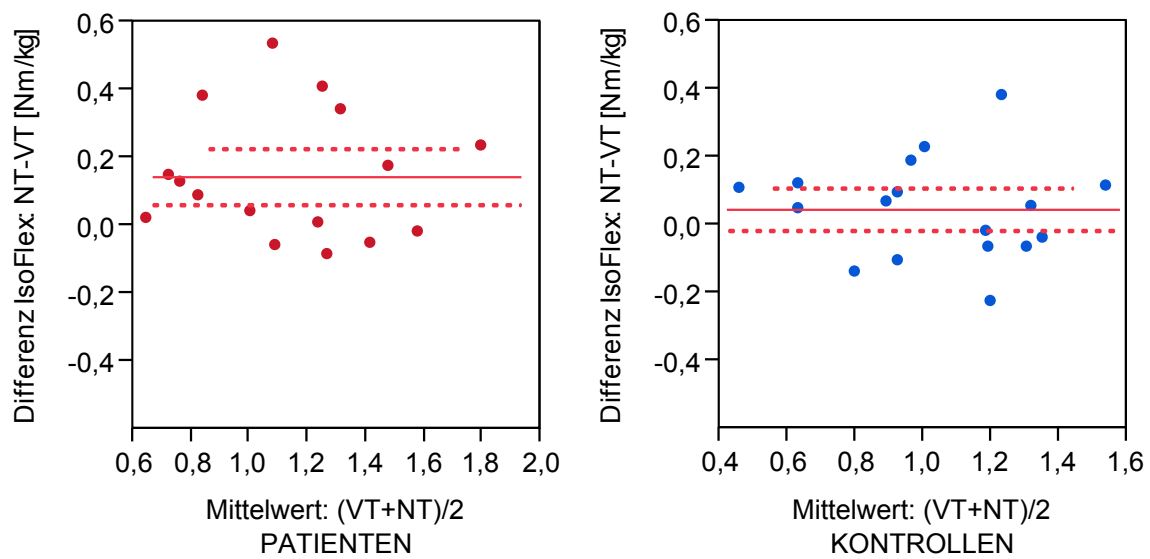


Abbildung 5.20: Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieflexion*

Abgesehen von den beiden Positivausreißern in der Patientengruppe zeigen die Patienten ein homogeneres Ergebnis als die Kontrollen, die in den Trainingseffekten insgesamt variabler sind und einen Ausreißer in die negative Richtung präsentieren.

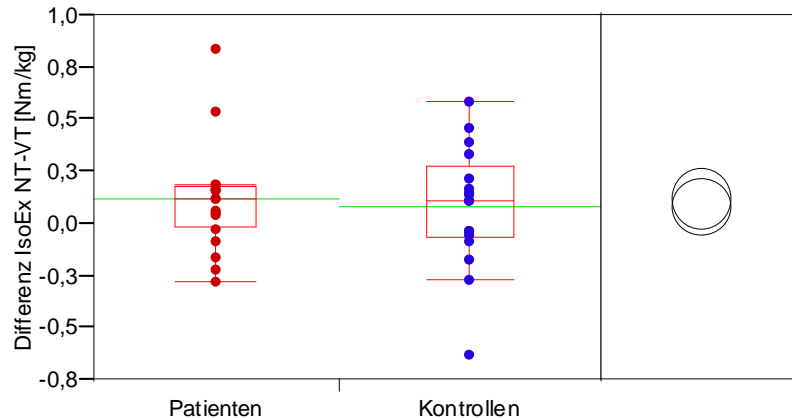


Abbildung 5.21: Vergleich Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieextension*

In der isometrischen Knieflexion ist im Gruppenvergleich der Trainingseffekte im Mittel ein statistisch tendenzieller Unterschied in Abbildung 5.22 zu beobachten ( $p=0,10$ ). Die ähnlich hohe Streuung der Daten in beiden Gruppen ist in dieser Abbildung nochmals deutlicher zu erkennen.

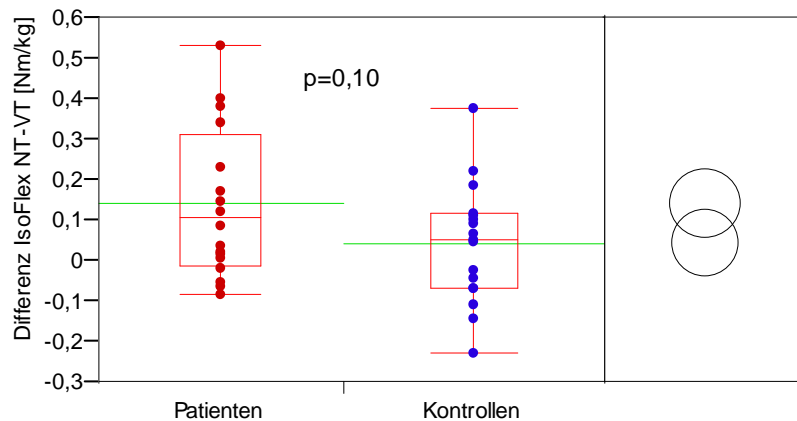


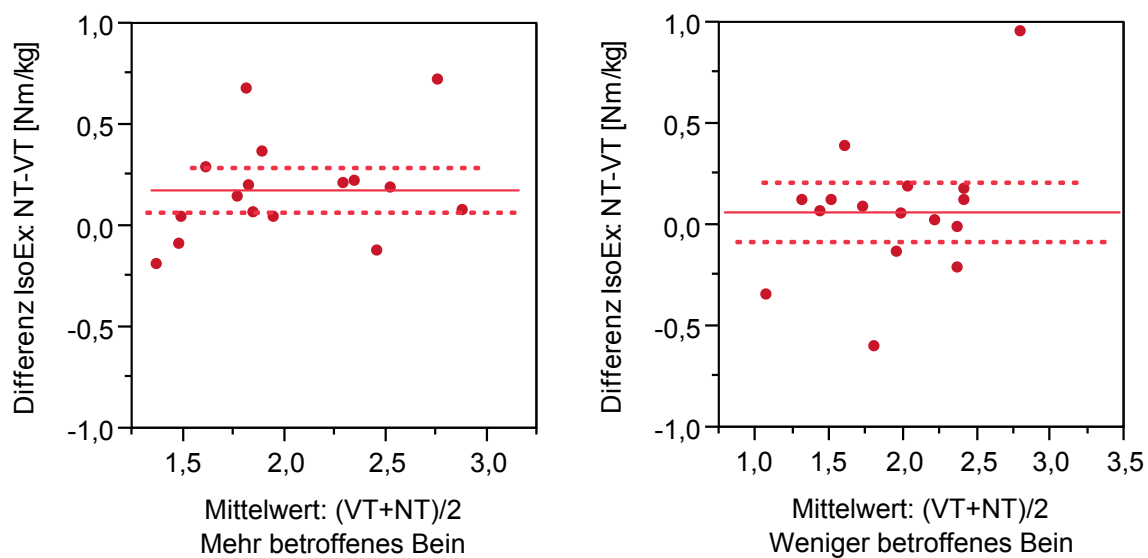
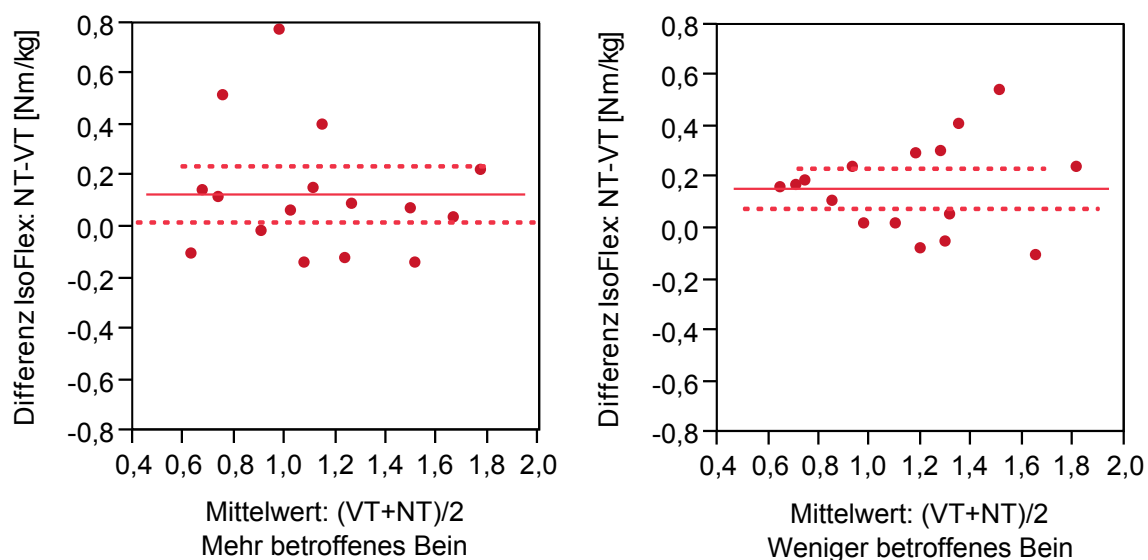
Abbildung 5.22: Vergleich Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieflexion*

### Beinvergleich Patienten Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft*

Die Trainingseffekte beider Beinseiten (*mehr* und *weniger betroffenes Bein*) in der Patientengruppe sind für die Isometrie in den Abbildungen 5.23 und 5.24 dargestellt. In der Knieextension stieg das isometrische Kraftniveau des *mehr betroffenen Beines* nach dem NW-Trainingsprogramm im Durchschnitt mit  $0,18 \pm 0,25$  Nm/kg deutlich an ( $p=0,006$ ), während beim *weniger betroffenen Bein* keine klaren Veränderungen zu sehen sind. Im *mehr betroffenen Bein* erhöhte sich die Kraft leicht bis stark bei elf Patienten, während sich bei fünf Patienten keine Veränderung oder eine Verringerung der Kraft nach Training zeigte. Im *weniger betroffenen Bein* erzielten zehn Patienten eine leichte Kraftverbesserung, dagegen sechs Patienten keine oder eine leichte bis starke Leistungsver schlechterung. Die Variabilität der Ergebnisse ist im *weniger betroffenen Bein* etwas höher als im *mehr betroffenen*.

In der Knieflexion ist dagegen in beiden Beinseiten eine Krafterhöhung zu erkennen. Das *mehr betroffene Bein* zeigt im Mittel eine Krafterhöhung von  $0,13 \pm 0,25$  Nm/kg ( $p=0,03$ ) und das *weniger betroffene Bein* um  $0,16 \pm 0,18$  Nm/kg ( $p=0,002$ ). Im *mehr betroffenen Bein* erzielten elf Patienten einen Kraftzuwachs, während sich bei fünf Patienten die Kraft verringerte oder unverändert blieb. In der *weniger betroffenen Beinseite* sind ebenfalls elf Patienten zu beobachten, die einen leichten bis deutlichen Kraftzuwachs erzielten, während fünf Patienten eine Kraftreduktion oder keine Veränderung präsentieren. Das *mehr betroffene Bein* weist eine höhere Variabilität in der Trainingsanpassung auf als das *weniger betroffene*. Ausserdem lässt die Abbildung des *weniger betroffenen Beins* vermuten, dass die Variabilität der Trainingsanpassung von dem Kraftniveau abhängig ist, da die Streuung mit der Höhe der Kraftfähigkeit zunimmt.

Im statistischen Vergleich der Trainingseffekte in der isometrischen Knieextension sind im Durchschnitt keine Unterschiede zwischen den Beinseiten zu beobachten, wie in den Abbildungen 5.25 zu

Abbildung 5.23: Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieextension* PatientenAbbildung 5.24: Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

erkennen ist. Die etwas höhere Datenstreuung in der *weniger betroffenen* Seite ist in dieser Abbildung nochmals deutlicher zu erkennen. Dabei weist das *mehr betroffene* Bein drei Positivausreisser auf, während das *weniger betroffene* je einen extremen Ausreisser in die positive wie auch in die negative Richtung zeigt.

In der isometrischen Knieflexion (siehe Abbildung 5.26) sind im Mittel ebenfalls keine Unterschiede in der Trainingsanpassung zu erkennen. Abgesehen von einem Positivausreisser in der *mehr betroffene*

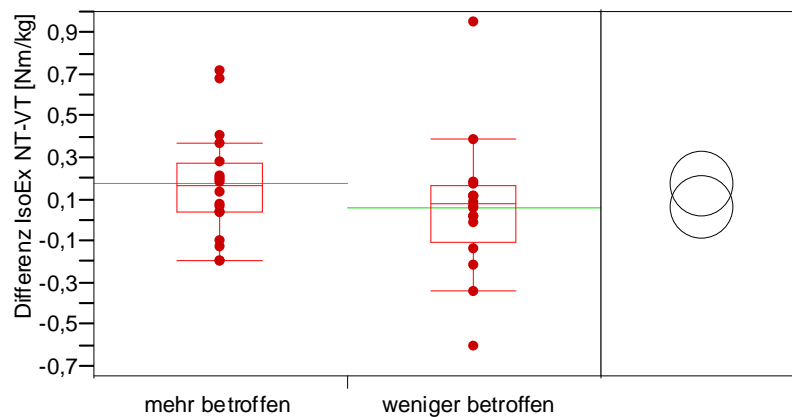


Abbildung 5.25: Vergleich Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieextension* Patienten

nen Seite ist die Variabilität beider Beinseiten gleich hoch.

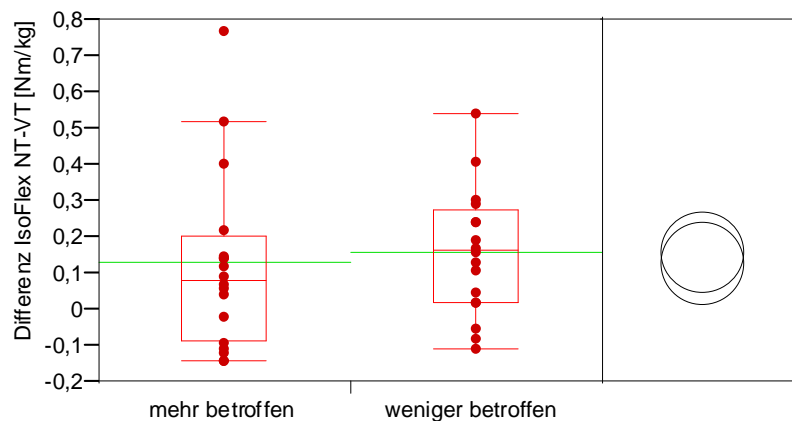


Abbildung 5.26: Vergleich Trainingseffekte *Isometrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

## 5.4.2 Konzentrik

### 5.4.2.1 Stichprobe *Konzentrik*

Die anthropometrischen Daten für die konzentrische Kraftmessung sind in Tabelle 5.13 zusammengefasst. Beide Gruppen sind in Alter, Größe und Gewicht statistisch vergleichbar, dagegen unterscheiden sich die beiden Gruppen deutlich in der Geschlechterverteilung. Die Kontrollgruppe ist im Mittel 1 Jahr jünger, 3,7 % kleiner und 6,0 % leichter als die Parkinsongruppe. Während die Patientengruppe aus 4 Frauen und 13 Männer besteht, befinden sich in der Kontrollgruppe 9 Frauen und 8 Männer. Die Patientengruppe bildet ein mittleres Hoehn & Yahr Stadium von  $2,1 \pm 0,2$ , erreicht einen UPDRS Score von  $28,1 \pm 7,7$  und ist seit  $5,2 \pm 4,0$  Jahren erkrankt.

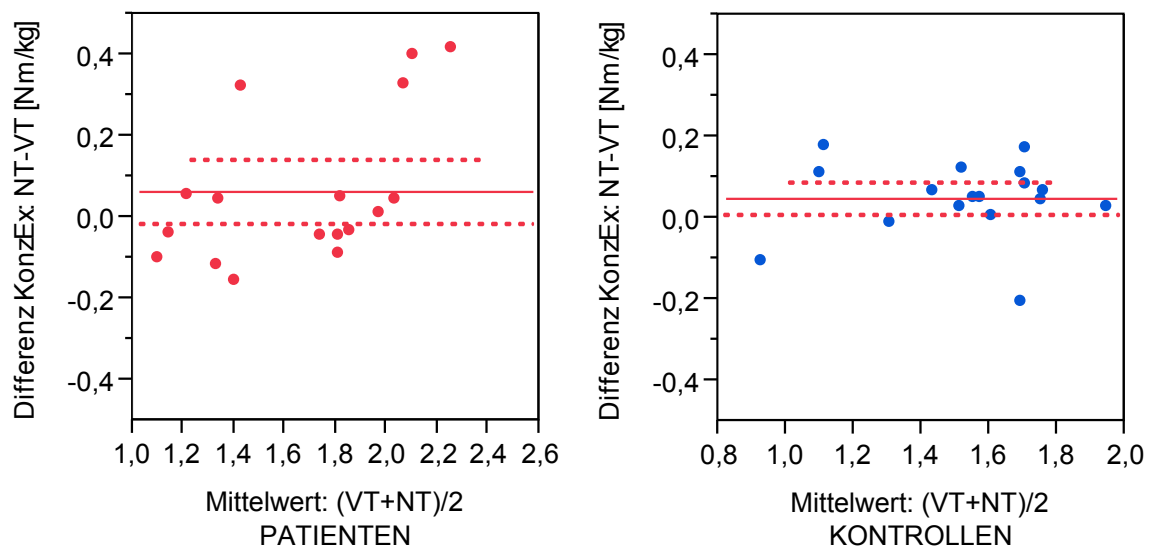
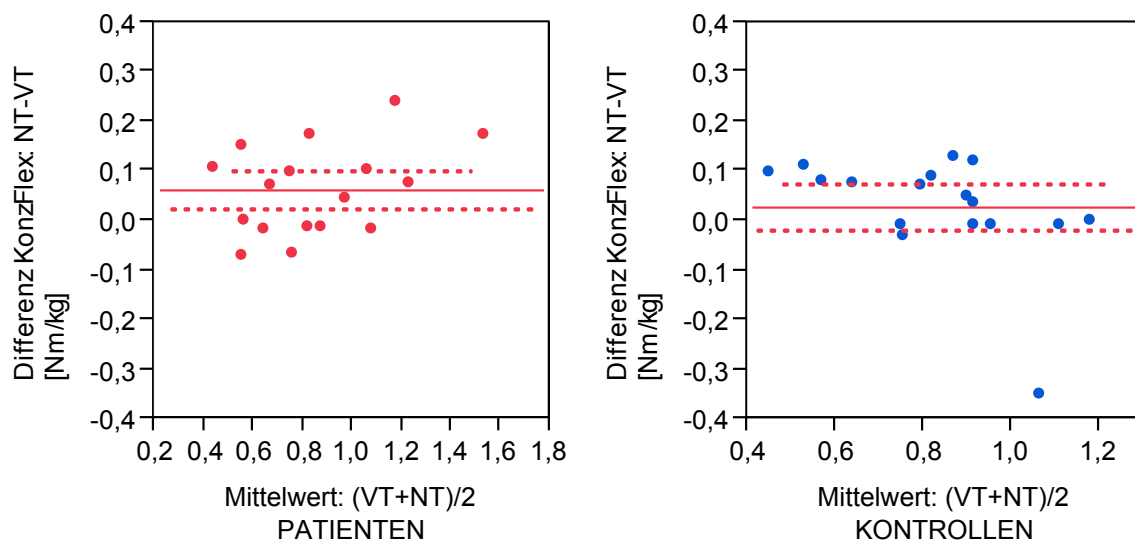
Tabelle 5.13: Stichproben *Konzentrische Kraftmessung*

	<b>Patienten (n=17)</b>	<b>Kontrollen (n=17)</b>
Alter [Jahre]	$67 \pm 6$	$66 \pm 6$
Größe [cm]	$172,5 \pm 8,7$	$168,5 \pm 10,6$
Gewicht [kg]	$81,3 \pm 15,3$	$76,4 \pm 13,1$
Geschlecht	4 ♀, 13 ♂	9 ♀, 8 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	$2,1 \pm 0,2$	-
UPDRS Motorik [Score]	$28,1 \pm 7,7$	-
Krankheitsdauer [Jahre]	$5,2 \pm 4,0$	-

### Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft*

Nach der Trainingsphase hat sich die Kontrollgruppe im Durchschnitt statistisch signifikant ( $p=0,03$ ) und die Patientengruppe statistisch tendenziell ( $p=0,09$ ) in ihrer maximalen konzentrischen Kniestreckkraft verbessert (siehe Abbildung 5.27 und Tabelle 5.15). In der Patientengruppe haben sich vier Probanden deutlich und vier leicht verbessert, wohingegen sich neun Patienten nicht verbessert oder etwas verschlechtert haben. In der Kontrollgruppe erhöhten dreizehn Probanden die Oberschenkelkraftfähigkeit, während zwei Kontrollen keine und zwei Kontrollen eine Verschlechterung der Kraft aufzeigten. Die Patienten streuen dabei in ihren Ergebnissen deutlich höher als die Kontrollen.

In der konzentrischen Knieflexion erzielten die Patienten durch das Training im Mittel eine statistisch signifikant höhere Kniebeugekraft um  $0,06 \pm 0,09$  Nm/kg ( $p=0,007$ ), während die Kontrollen keine klaren Verbesserungen aufzeigen konnten (siehe Abbildung 5.28). Während zehn Patienten eine leichte bis deutliche Krafterhöhung erreichten, verringerte sich das Kraftniveau bei sieben Patienten leicht. Auch in der Kontrollgruppe erreichten zehn Probanden eine leichte Erhöhung der Kraft, wohingegen sechs Kontrollen keine Kraftveränderung vorweisen und eine Person sogar eine extreme Verschlechterung der Kraft präsentierte. Im Vergleich variierten die Patienten etwas mehr in ihrer Trainingsanpassung als die Kontrollen.

Abbildung 5.27: Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieextension*Abbildung 5.28: Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieflexion*

Wie in Abbildung 5.29 zu erkennen ist, unterscheiden sich die Gruppen im Mittel in der Trainingsanpassung der konzentrischen Kniestreckkraft nicht (siehe auch Tabelle 5.16). Die höhere Datenstreuung der Patientengruppe ist in dieser Abbildung nochmals deutlicher zu erkennen.

Auch in der konzentrischen Kniebeugekraft sind keine Unterschiede im Mittelwert der Trainingsanpassungen zu erkennen (siehe Abbildung 5.30). Auffallend ist der extreme Ausreisser in der Kontrollgruppe in die negative Richtung.



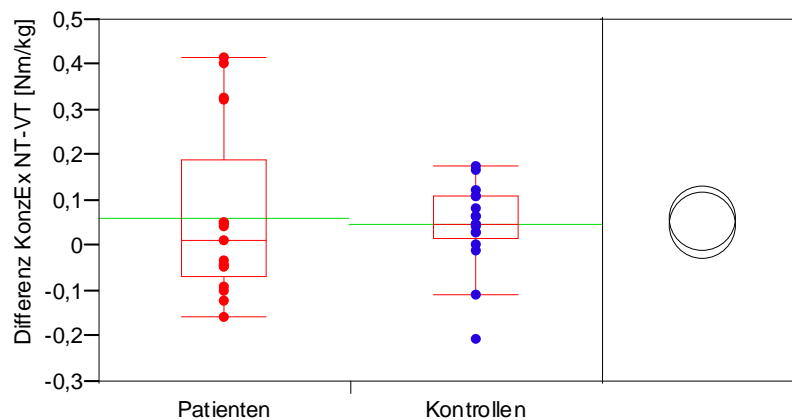


Abbildung 5.29: Vergleich Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieextension*

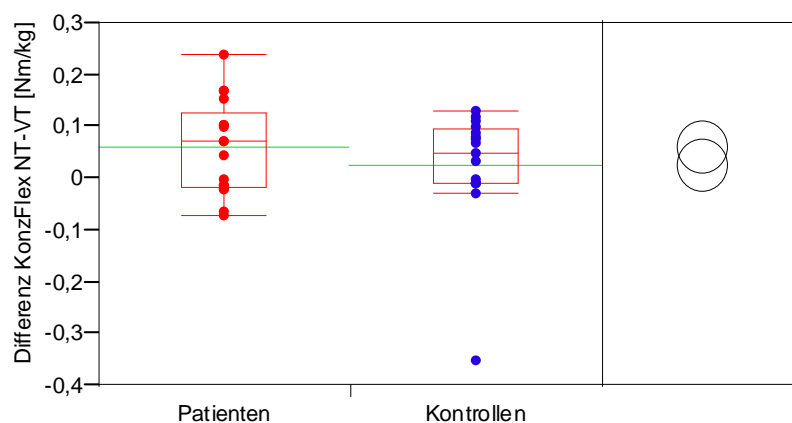


Abbildung 5.30: Vergleich Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieflexion*

### Beinvergleich Patienten Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft*

Es konnte in der Patientengruppe im *mehr betroffenen Bein* statistisch durchschnittlich kein Trainingseffekt beobachtet werden, während das *weniger betroffene Bein* eine statistisch signifikante Erhöhung aufwies ( $p=0,05$ ) (siehe Abbildung 5.31). Numerisch erreichten beide Beine ähnliche Kraftanstiege (*mehr betroffen* um  $0,06 \pm 0,27$  Nm/kg, *weniger betroffen* um  $0,07 \pm 0,16$  Nm/kg), jedoch ist die Streuung in der *mehr betroffenen* Seite für das Erreichen eines statistischen Effekts zu hoch, wie an

den 90%-Konfidenzintervallgrenzen zu erkennen ist (siehe auch Tabelle 5.17). Neun Patienten erreichten im *mehr betroffenen* Bein eine leichte bis starke Krafterhöhung, während acht Patienten nach Trainingsende eine leichte bis mittlere Kraftverringerung aufzeigten. In der *weniger betroffenen* Beinseite verbesserten sich acht Patienten in der konzentrischen Kniestreckkraft, wogegen sechs Patienten keine Veränderung oder eine Verschlechterung zeigten. Die Ergebnisse auf der *mehr betroffenen* Seite streuen deutlich höher als die der *weniger betroffenen*.

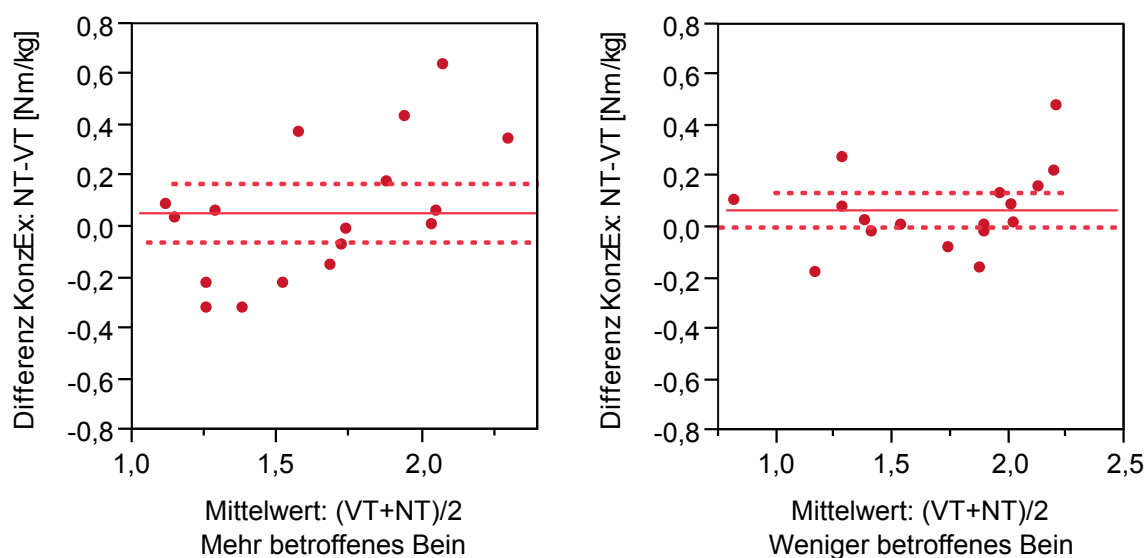


Abbildung 5.31: Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieextension* Patienten

In der konzentrischen Knieflexion zeigten beide Beine deutliche Kraftanstiege um durchschnittlich  $0,06 \pm 0,03$  Nm/kg ( $p=0,02$ ), wie in Abbildung 5.32 zu erkennen ist. Im *mehr betroffenen* Bein verbesserten sich zehn Patienten leicht bis stark, während sich bei sieben Patienten das Kraftniveau nicht veränderte oder leicht verschlechterte. Im *weniger betroffenen* Bein ist eine Verbesserung der Kraft nach Training bei zehn Patienten zu erkennen, während in sieben Fällen keine Kraftveränderungen oder eine leichte Verschlechterung zu beobachten ist. Die Variabilität der Trainingseffekte ist bei beiden Beinen ähnlich.

Im statistischen Vergleich der Trainingsanpassung in der mittleren konzentrischen Kniestreckkraft sind zwischen den Beinseiten keine Unterschiede zu beobachten, wie Abbildung 5.33 aufzeigt. In der *weniger betroffenen* Beinseite ist ein Ausreisser in die positive Richtung zu beobachten. Die höhere Variabilität in der *mehr betroffenen* Beinseite ist in dieser Abbildung deutlich zu erkennen.

Wie Abbildung 5.34 darstellt, sind auch in der Knieflexion im Mittel keine Beinseitenunterschiede zu beobachten. Die ähnlich hohe Variabilität der Daten in beiden Gruppen ist in dieser Abbildung gut erkennbar. Im *weniger betroffenen* Bein ist ein Ausreisser in die positive Richtung zu beobachten.

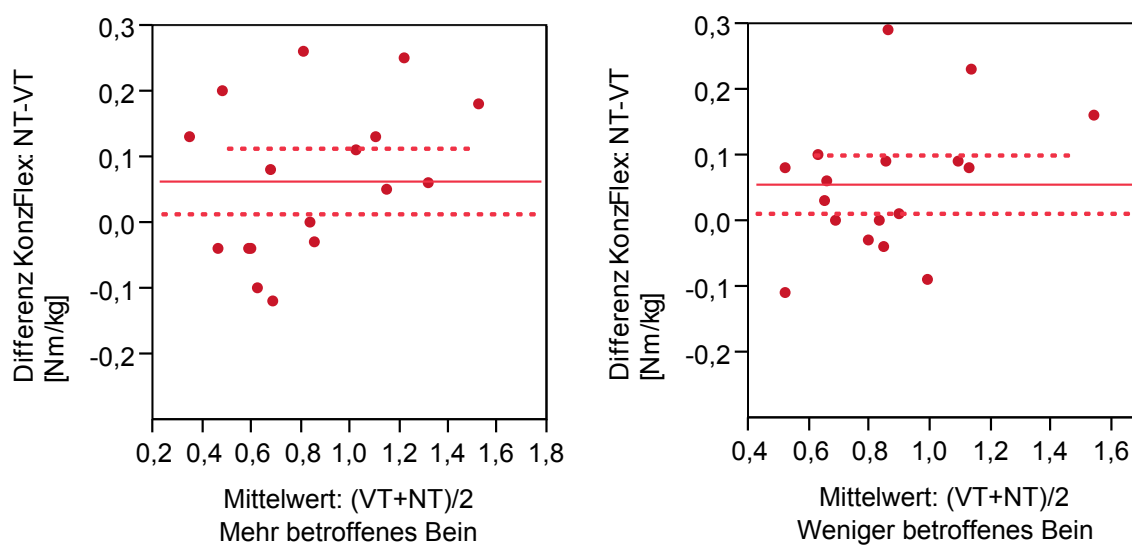


Abbildung 5.32: Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

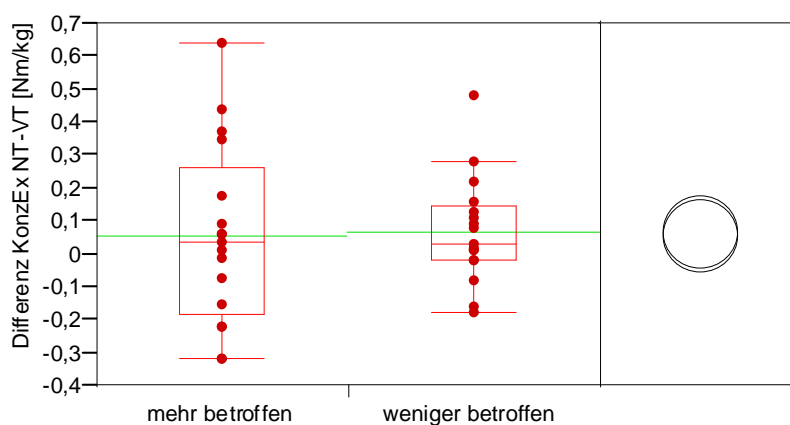


Abbildung 5.33: Vergleich Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieextension* Patienten

### 5.4.3 Exzentrik

#### 5.4.3.1 Stichprobe *Exzentrik*

In Tabelle 5.14 ist die Stichprobe für die exzentrische Maximalkraftmessung zusammengefasst. Es bestehen in beiden Gruppen statistisch keine Unterschiede in Alter, Größe und Gewicht, jedoch ist die

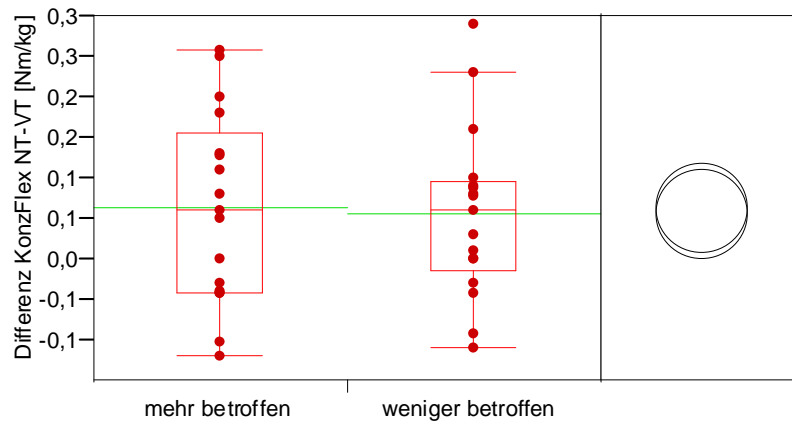


Abbildung 5.34: Vergleich Trainingseffekte *Konzentrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

Geschlechterverteilung ungleich (Patienten: 4 Frauen, 12 Männer, Kontrollen: 8 Frauen, 6 Männer). Die Kontrollgruppe ist im Vergleich zur Patientengruppe im Mittel 2 Jahre jünger, 3,1 % kleiner und 9,6 % leichter. Die Patientengruppe erreicht ein gemittelt Hoehn & Yahr Stadium von  $2,1 \pm 0,2$ , einen UPDRS Score von  $27,8 \pm 7,8$  und ist  $4,5 \pm 2,8$  Jahre erkrankt.

Tabelle 5.14: Stichproben *Exzentrische Kraftmessung*

	Patienten (n=16)	Kontrollen (n=14)
Alter [Jahre]	$67 \pm 6$	$65 \pm 6$
Größe [cm]	$172,3 \pm 9,0$	$166,9 \pm 10,8$
Gewicht [kg]	$81,0 \pm 15,8$	$73,2 \pm 12,0$
Geschlecht	4 ♀, 12 ♂	8 ♀, 6 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	$2,1 \pm 0,2$	-
UPDRS Motorik [Score]	$27,8 \pm 7,8$	-
Krankheitsdauer [Jahre]	$4,5 \pm 2,8$	-

### Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft*

In der exzentrischen Kniestreckkraft bewirkte das NW-Training in beiden Gruppen im Mittelwert statistisch signifikante Kraftverbesserungen: Bei den Patienten um  $0,25 \pm 0,29$  Nm/kg ( $p=0,002$ ), in der Kontrollgruppe um  $0,12 \pm 0,24$  Nm/kg ( $p=0,04$ ) (siehe Abbildung 5.35). Während sich zehn Patienten leicht bis deutlich verbesserten, veränderte sich das Kraftniveau bei sechs Patienten nicht oder

verschlechterte sich. In der Kontrollgruppe erzielten sieben Probanden eine Verbesserung der exzentrischen Kniestreckkraft, während wiederum bei sieben Kontrollen die Kraft unverändert blieb oder sich leicht verschlechterte. Die Streuung der Daten ist in beiden Gruppen hoch, wobei die Patientengruppe die Kontrollgruppe dabei leicht übertrifft.

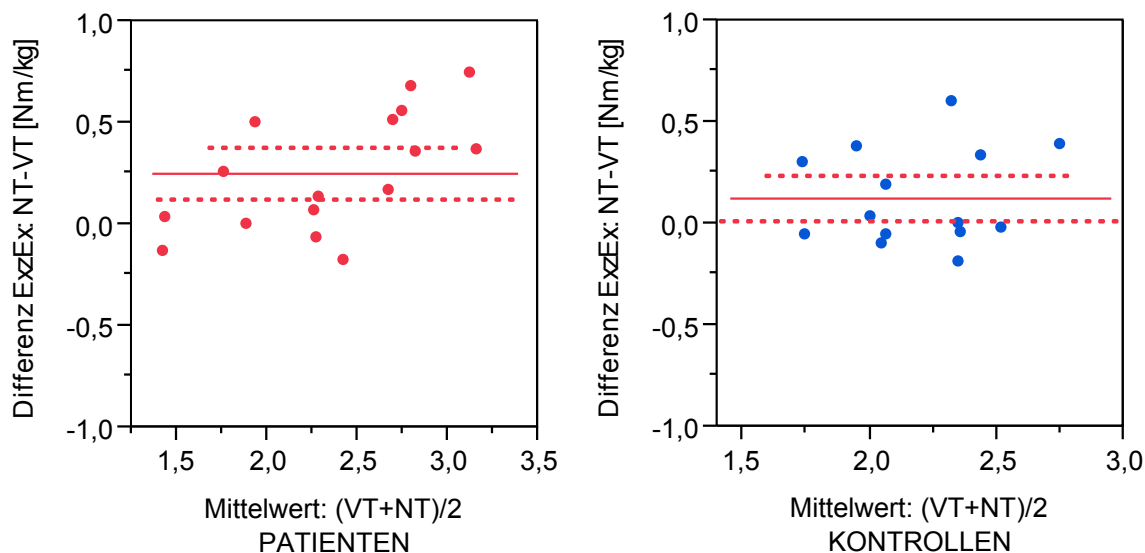
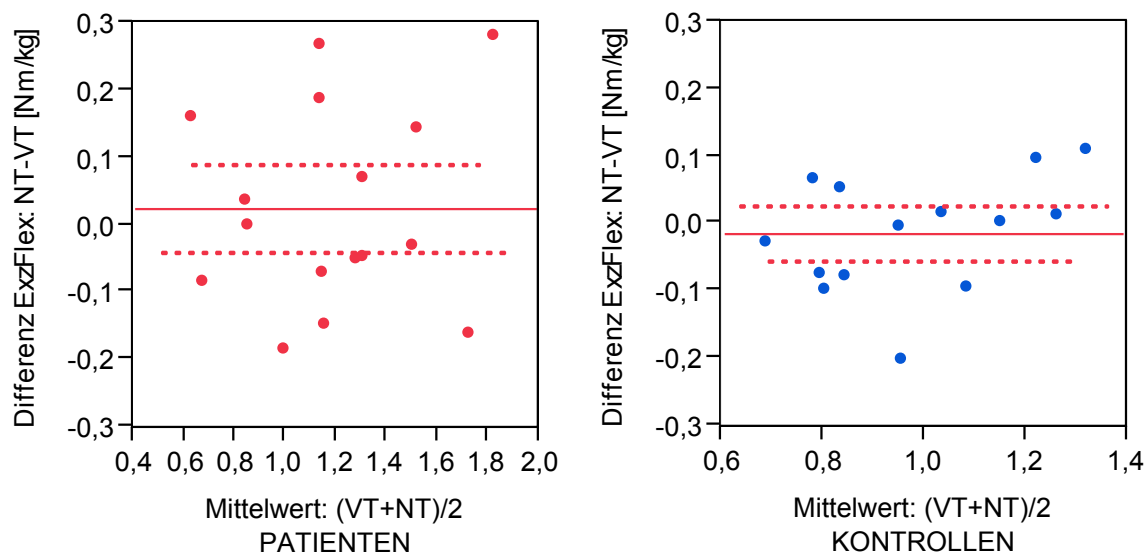
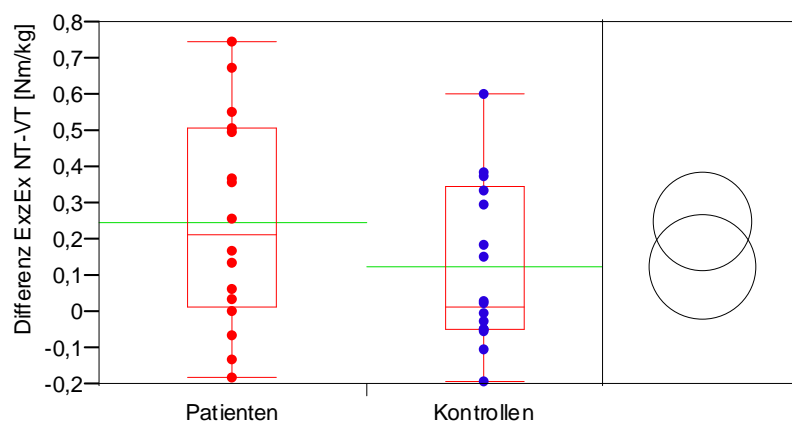


Abbildung 5.35: Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieextension*

In der exzentrischen Kniebeugemuskulatur wurde im Mittel in beiden Gruppen keine Kraftveränderung erreicht, wie in Abbildung 5.36 und Tabelle 5.15 zu beobachten ist. In der Patientengruppe verbesserten sich dabei sieben Patienten leicht bis deutlich, während neun Patienten ihre exzentrische Oberschenkelbeugekraft nicht veränderten oder leicht bis mittel verschlechterten. In der Kontrollgruppe erreichten sechs Probanden eine leichte bis starke Krafterhöhung nach Training, wohingegen acht Kontrollen keine Kraftveränderung oder eine Verringerung aufwiesen. Wie an den 90%-Konfidenzintervallgrenzen zu erkennen ist, variiert die Patientengruppe mehr als die Kontrollgruppe.

Im statistischen Vergleich der Trainingseffekte zeigt sich im Mittel in der exzentrischen Kniestreckkraft kein Gruppenunterschied, wie in Abbildung 5.37 zu sehen ist. Rein grafisch ist ein leicht höherer Kraftzuwachs in der Patientengruppe zu erkennen. Die Streuung der Daten ist in der Patientengruppe ebenfalls leicht höher als in der Kontrollgruppe, wobei beide Gruppen relativ hohe Streuungen aufweisen.

In der exzentrischen Kniebeugekraft ist ebenfalls kein Gruppenunterschied in der Trainingsanpassung zu beobachten (siehe Abbildung 5.38). Wiederum ist grafisch ein leicht höherer Kraftzuwachs in der Patientengruppe zu sehen, wobei die Patienten im Vergleich zu den Kontrollpersonen eine sehr hohe Variabilität in den Ergebnissen vorweisen.

Abbildung 5.36: Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieflexion*Abbildung 5.37: Vergleich Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieextension*

### Beinvergleich Patienten Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft*

Im Beinseitenvergleich der Patientengruppe ist in beiden Beinen eine statistisch signifikante Erhöhung der durchschnittlichen exzentrischen Kniestreckkraft zu beobachten (siehe Abbildung 5.39). Die *mehr betroffene* Beinseite erreichte eine mittlere Krafterhöhung von  $0,27 \pm 0,34$  Nm/kg ( $p=0,006$ ), die *weniger betroffene* Seite um  $0,23 \pm 0,33$  Nm/kg ( $p=0,007$ ). In der *mehr betroffenen* Seite konnten bei neun Patienten höhere Kraftwerte nach Training beobachtet werden, während sich sieben Patienten

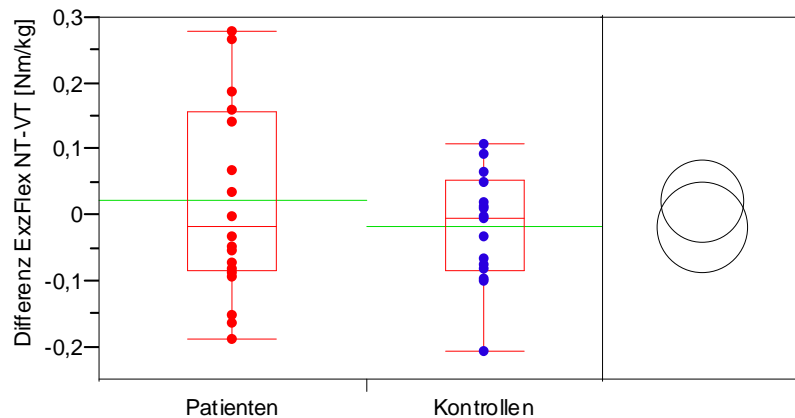


Abbildung 5.38: Vergleich Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieflexion*

in dieser Beinseite nicht veränderten oder leicht verschlechterten. In der *weniger betroffenen* Seite erreichten 13 Patienten Kraftzuwächse, wohingegen drei Patienten nach Training ein niedrigeres Kraftniveau zeigten als davor. Wiederum streuen die Daten in den beiden Beinseiten ähnlich hoch.

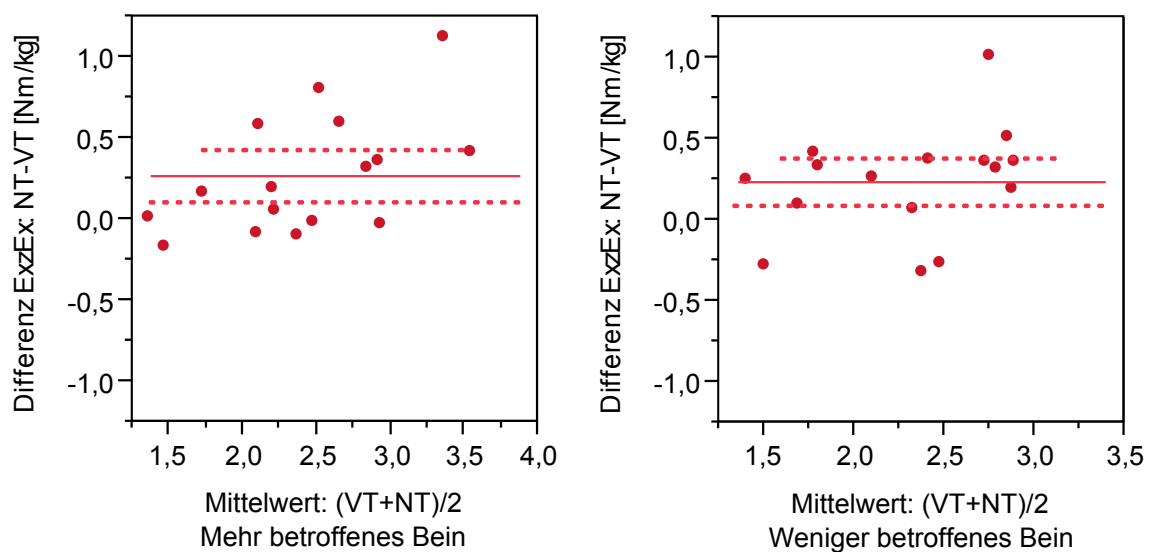


Abbildung 5.39: Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieextension* Patienten

Die exzentrische Kniebeugekraft blieb im Mittel in beiden Beinseiten unverändert (siehe Abbildung 5.40). Während im *mehr betroffenen* Bein sieben Patienten eine leichte bis mittlere Kraftverbesserung erreichten, konnte bei sieben Patienten keine Veränderung oder eine leichte, bei zwei Patienten sogar

eine deutliche Verschlechterung beobachtet werden. In der *weniger betroffenen* Seite erzielten sieben Patienten einen Kraftzuwachs, während bei neun Patienten eine leichte bis starke Verringerung der Kraftwerte aufgezeigt werden konnte. Das *weniger betroffene* Bein variiert in den Ergebnissen stärker als das *mehr betroffene* Bein.

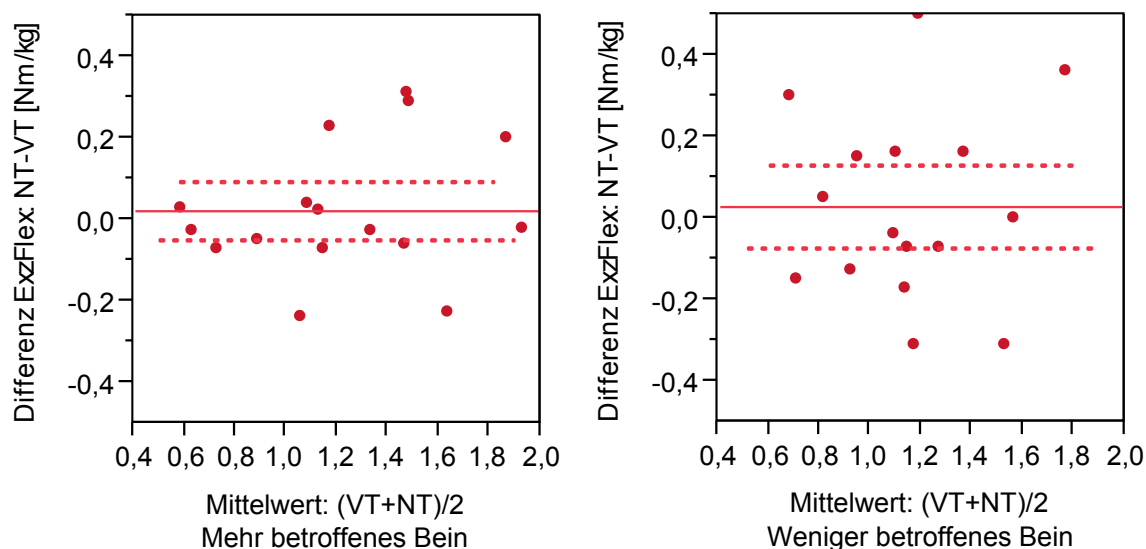


Abbildung 5.40: Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

In Abbildung 5.41 ist zu beobachten, dass sich die beiden Beinseiten in der Trainingsanpassung der exzentrischen Knieextensionskraft nicht unterscheiden (siehe auch Tabelle 5.18). Die Datenstreuung in der *mehr betroffenen* Seite ist höher als in der *weniger betroffenen* Seite, wobei in der *weniger betroffenen* Seite ein Ausreisser in die positive Richtung zu erkennen ist.

In der Knieflexion ist ebenfalls kein Unterschied in der Trainingsanpassung zwischen den Beinseiten zu erkennen (siehe Abbildung 5.42). Allerdings variieren die Ergebnisse des *weniger betroffenen* Beins höher als die des *mehr betroffenen* Beins.

#### 5.4.3.2 Zusammenfassung *Isokinetische Kraftmessung*

Durch das NW-Trainingsprogramm verbesserten sich die Patienten statistisch signifikant in der isometrischen Extension und Flexion, in der konzentrischen Knieflexion, der exzentrischen Extension und tendenziell in der konzentrischen Extension. In der exzentrischen Knieflexion bewirkte das Training in der Patientengruppe keine Kraftveränderung. In der Kontrollgruppe veränderte sich die Maximalkraft in der konzentrischen und exzentrischen Extension statistisch signifikant, die anderen Bewegungsrichtungen und Arbeitsweisen blieben unverändert. Während beide Gruppen in der Isometrie eine ähnliche Variabilität zeigten, streuten die Ergebnisse in den dynamischen Arbeitsweisen (Konzentrik und Exzentrik) in der Patientengruppe mehr als in der Kontrollgruppe. Im Gruppenvergleich der



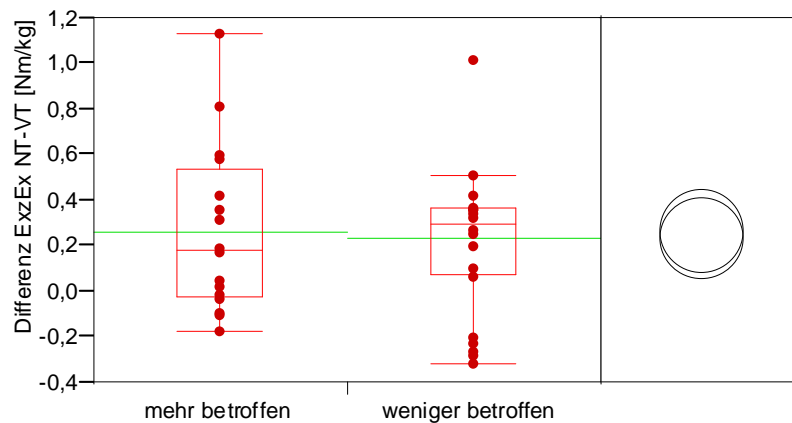


Abbildung 5.41: Vergleich Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieextension* Patienten

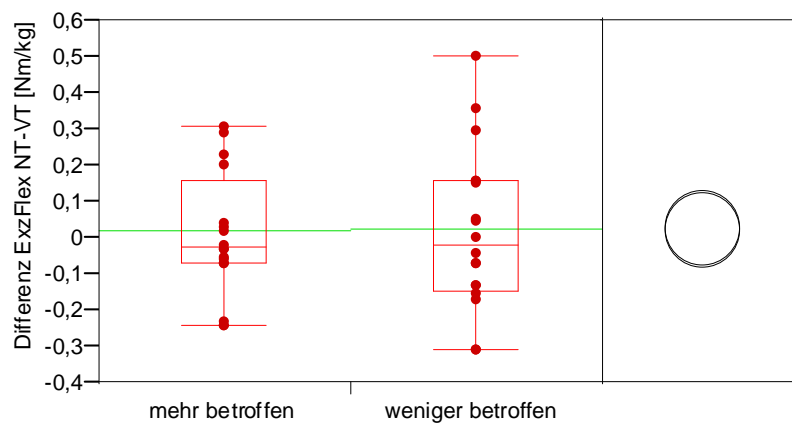


Abbildung 5.42: Vergleich Trainingseffekte *Exzentrische Maximalkraft Knieflexion* Patienten

Trainingseffekte konnten keine Unterschiede festgestellt werden, mit Ausnahme eines tendenziellen Unterschieds in der isometrischen Flexion.

Das *mehr betroffene* Bein zeigte nach dem Training einen statistisch signifikanten Kraftanstieg in der isometrischen Extension und Flexion, konzentrischen Flexion und exzentrische Extension, während sich die Kraft in den anderen Arbeitsweisen und Bewegungsrichtungen nicht veränderte. Das *weniger betroffene* Bein zeigte statistisch signifikante Krafterhöhungen in der isometrischen Flexion, der kon-

Tabelle 5.15: Trainingseffekte *Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur*

Trainingseffekte								
[Nm/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>IsoEx Patienten</b>	1,9 ± 0,4	2,0 ± 0,5	0,12	1,8	15	0,24	0,002	0,05
<b>IsoEx Kontrollen</b>	1,8 ± 0,4	1,9 ± 0,4	0,08	1,2	16	0,21	-0,04	0,13
<b>IsoFlex Patienten</b>	1,1 ± 0,4	1,2 ± 0,3	0,14	3,0	15	0,22	0,06	0,004
<b>IsoFlex Kontrollen</b>	1,0 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,04	1,2	16	0,11	-0,02	0,12
<b>KonzEx Patienten</b>	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,4	0,06	1,4	16	0,14	-0,02	0,09
<b>KonzEx Kontrollen</b>	1,5 ± 0,3	1,6 ± 0,3	0,05	2,1	16	0,09	0,007	0,03
<b>KonzFlex Patienten</b>	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,06	2,7	16	0,10	0,02	0,007
<b>KonzFlex Kontrollen</b>	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,03	1,0	16	0,07	-0,02	0,17
<b>ExzEx Patienten</b>	2,2 ± 0,5	2,5 ± 0,7	0,25	3,4	15	0,38	0,12	0,002
<b>ExzEx Kontrollen</b>	2,1 ± 0,3	2,3 ± 0,3	0,12	2,0	13	0,24	0,01	0,04
<b>ExzFlex Patienten</b>	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,4	0,02	0,6	15	0,09	-0,04	0,28
<b>ExzFlex Kontrollen</b>	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	-0,02	-0,8	13	0,02	-0,06	0,77

zentrischen Extension und Flexion und der exzentrischen Extension, während die anderen Kraftrichtungen und -arten unverändert blieben. In der Trainingsanpassung konnten keine Unterschiede in den Beinseiten beobachtet werden. Die Variabilität der Ergebnisse zwischen den Beinseiten ist über die drei Arbeitsweisen unsystematisch.

Tabelle 5.16: Vergleich Trainingseffekte *Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur*

Differenz NT-VT [Nm/kg]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>IsoEx</b>	0,12 ± 0,27	0,08 ± 0,29	0,04	0,41	31	0,24	-0,16	0,69
<b>IsoFlex</b>	0,14 ± 0,19	0,04 ± 0,15	0,10	1,67	31	0,22	-0,02	0,10
<b>KonzEx</b>	0,06 ± 0,19	0,05 ± 0,09	0,02	0,30	32	0,12	-0,09	0,76
<b>KonzFlex</b>	0,06 ± 0,09	0,03 ± 0,11	0,04	1,00	32	0,12	-0,04	0,33
<b>ExzEx</b>	0,25 ± 0,29	0,12 ± 0,24	0,13	1,29	28	0,33	-0,07	0,21
<b>ExzFlex</b>	0,02 ± 0,15	-0,02 ± 0,09	0,04	0,87	28	0,13	-0,05	0,39

## 5.5 Leistungsdiagnostik

Während und nach der Studienphase wurden einzelne Probanden für die Auswertung der Leistungsdiagnostik ausgeschlossen. Diese sind in Tabelle 5.19 mit der Ausschlussbegründung aufgelistet.

### 5.5.1 Spiroergometrie

#### 5.5.1.1 Stichprobe *Spiroergometrie*

Tabelle 5.20 fasst die anthropometrischen Daten der Stichproben zusammen, die der Leistungsdiagnostik zugrunde liegen. Außer den Ungleichheiten in der Geschlechterverteilung (Patienten: 4 ♀, 12 ♂, Kontrollen: 9 ♀, 6 ♂) bestehen keine statistischen Unterschiede in Alter, Größe und Gewicht. Die Kontrollgruppe ist durchschnittlich 3 Jahre jünger, 2,4 % kleiner und 4,8 % leichter als die Patientengruppe. Die Patientengruppe erreicht ein mittleres Hoehn & Yahr Stadium von  $2,1 \pm 0,2$ , einen UPDRS Score von  $27,9 \pm 7,9$  und eine mittlere Krankheitsdauer von  $5,2 \pm 4,2$  Jahren.

#### 5.5.1.2 Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

##### Trainingseffekte *Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme*

Es konnte in der Patientengruppe ( $p=0,06$ ) und in der Kontrollgruppe ( $p=0,07$ ) eine tendenzielle Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme im Mittel festgestellt werden (siehe Abbildung 5.43).

Tabelle 5.17: Trainingseffekte Beinseiten Patienten *Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur*

Trainingseffekte								
[Nm/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>IsoEx mehr betr.</b>	1,9 ± 0,4	2,1 ± 0,5	0,2	2,8	15	0,29	0,07	0,006
<b>IsoEx weniger betr.</b>	1,9 ± 0,4	2,0 ± 0,6	0,1	0,8	15	0,21	-0,08	0,23
<b>IsoFlex mehr betr.</b>	1,1 ± 0,4	1,2 ± 0,4	0,1	2,0	15	0,24	0,02	0,03
<b>IsoFlex weniger betr.</b>	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,4	0,2	3,5	15	0,24	0,08	0,002
<b>KonzEx mehr betr.</b>	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,5	0,1	0,8	16	0,17	-0,06	0,21
<b>KonzEx weniger betr.</b>	1,7 ± 0,4	1,7 ± 0,4	0,1	1,8	16	0,14	0,0001	0,05
<b>KonzFlex mehr betr.</b>	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,4	0,1	2,2	16	0,11	0,01	0,02
<b>KonzFlex weniger betr.</b>	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,1	2,2	16	0,10	0,01	0,02
<b>ExzEx mehr betr.</b>	2,3 ± 0,5	2,6 ± 0,7	0,3	2,9	15	0,43	0,11	0,006
<b>ExzEx weniger betr.</b>	2,2 ± 0,5	2,4 ± 0,6	0,2	2,8	15	0,38	0,09	0,007
<b>ExzFlex mehr betr.</b>	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,4	0,02	0,5	15	0,09	-0,05	0,32
<b>ExzFlex weniger betr.</b>	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,03	0,5	15	0,13	-0,08	0,32

Tabelle 5.18: Vergleich Trainingseffekte Beinseiten Patienten *Maximalkraft Oberschenkelmuskulatur*

Differenz NT-VT [Nm/kg]	Mittelwert ± Stabw. mehr betroffen	Mittelwert ± Stabw. weniger betroffen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>IsoEx</b>	0,18 ± 0,25	0,06 ± 0,33	0,11	1,09	30	0,33	-0,10	0,29
<b>IsoFlex</b>	0,13 ± 0,25	0,16 ± 0,18	-0,03	-0,36	30	0,13	-0,19	0,72
<b>KonzEx</b>	0,06 ± 0,27	0,07 ± 0,16	-0,01	-0,18	32	0,14	-0,17	0,86
<b>KonzFlex</b>	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,01	0,20	32	0,09	-0,07	0,84
<b>ExzEx</b>	0,27 ± 0,34	0,23 ± 0,33	0,03	0,26	30	0,29	-0,22	0,80
<b>ExzFlex</b>	0,02 ± 0,16	0,03 ± 0,23	-0,01	-0,10	30	0,14	-0,15	0,92

Tabelle 5.19: *Dropout* Liste Leistungsdiagnostik

Probanden-ID	Begründung
PSS02	Herzrhythmusstörungen in Ruhe-EKG vor 1. Messung, aufgrund Gesundheitsrisiko keine Messungen durchgeführt
PSS11	Hoher Gewichtsverlust von 1. zur 2. Messung, Ergebnisse nicht vergleichbar
PSS15	Während Tests mit Händen unterstützend festgehalten, Koordinative Überforderung
PSS26	Herzmedikation während Studienphase verändert, Ergebnisse nicht vergleichbar
PSS31	3-monatiger Kuraufenthalt im Ausland vor Studienbeginn, Ergebnisse durch Lebensumstellung nicht vergleichbar

Tabelle 5.20: Stichproben *Spiroergometrie*

	Patienten (n=16)	Kontrollen (n=15)
Alter [Jahre]	68 ± 6	65 ± 6
Größe [cm]	171,9 ± 8,6	167,7 ± 10,0
Gewicht [kg]	78,8 ± 11,6	75,0 ± 12,0
Geschlecht	4 ♀, 12 ♂	9 ♀, 6 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	2,1 ± 0,2	-
UPDRS Motorik [Score]	27,9 ± 7,9	-
Krankheitsdauer [Jahre]	5,2 ± 4,2	-

In der Patientengruppe erreichten zehn Patienten eine Erhöhung der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme, während sechs Patienten nach Training keine Leistungsveränderung oder eine Verschlechterung aufzeigten. In der Kontrollgruppe erzielten acht Patienten eine Verbesserung der Leistung, wohingegen sieben darin unverändert blieben oder eine Verringerung der Leistung aufwiesen. Allerdings ist in beiden Gruppen die Variabilität der Ergebnisse hoch, wie an den 90% Konfidenzintervallgrenzen zu sehen ist. Die Patientendaten streuen dabei höher als die der Kontrollen.

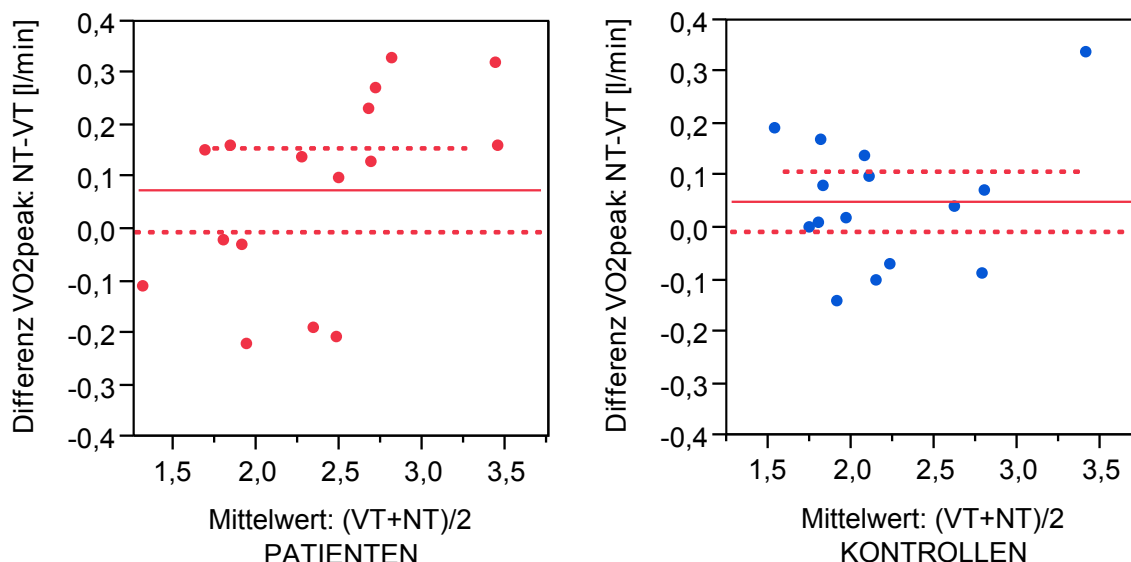


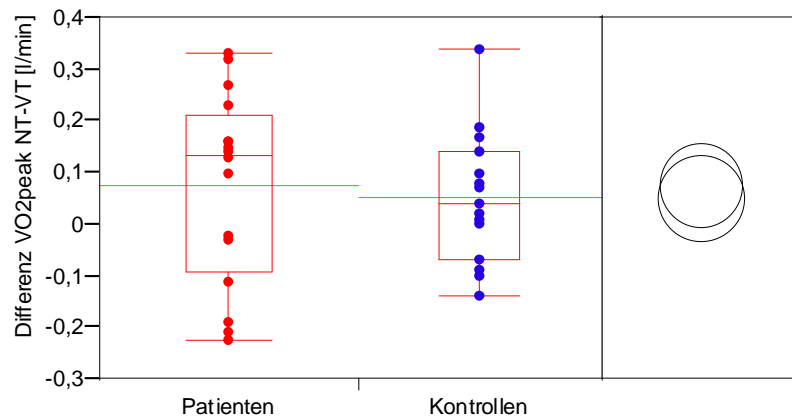
Abbildung 5.43: Trainingseffekte *Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme*

Im Gruppenvergleich der Trainingsanpassung sind keine Unterschiede zu beobachten (siehe Abbildung 5.44 und Tabelle 5.21), da sich die maximal erreichte Sauerstoffaufnahme in beiden Gruppen nach Training ähnlich erhöhte.

### 5.5.1.3 Relative maximale Sauerstoffaufnahme

#### Trainingseffekte *Relative maximale Sauerstoffaufnahme*

Nach dem Training ist in beiden Gruppen im Mittelwert eine statistisch signifikante Erhöhung der maximal erreichten relativen Sauerstoffaufnahme zu sehen, bei den Patienten um  $1,1 \pm 2,1$  ml/min/kg ( $p=0,02$ ), bei den Kontrollen um  $0,9 \pm 1,8$  ml/min/kg ( $p=0,04$ ). In der Patientengruppe zeigen elf Patienten eine Leistungserhöhung, ein Patient blieb darin unverändert, während sich vier Patienten verschlechterten. In der Kontrollgruppe erreichen elf Probanden eine leichte bis starke Verbesserung der Leistung, wogegen sich diese bei vier Probanden verringerte. Beide Gruppen variieren in ihren Ergebnissen vergleichbar hoch (siehe Abbildung 5.45 und Tabelle 5.22), wie auch an der Größe der 90%-Konfidenzintervalle zu erkennen ist.

Abbildung 5.44: Vergleich Trainingseffekte *Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme*Tabelle 5.21: Trainingseffekte *Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme*

Trainingseffekte								
$VO_{2peak}$ [l/min]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	2,3 ± 0,6	2,4 ± 0,7	0,08	1,6	15	0,16	-0,01	0,06
<b>Kontrollen</b>	2,2 ± 0,5	2,2 ± 0,5	0,05	1,5	14	0,11	-0,01	0,07
Vergleich Trainingseffekte								
$VO_{2peak}$ [l/min]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT</b>	0,08 ± 0,18	0,05 ± 0,13	0,03	0,4	29	0,1	-0,1	0,67

Der statistische Gruppenvergleich der Trainingsanpassungen für die maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme lässt keinen Unterschied zwischen den Gruppen erkennen, wie Abbildung 5.46 verdeutlicht.

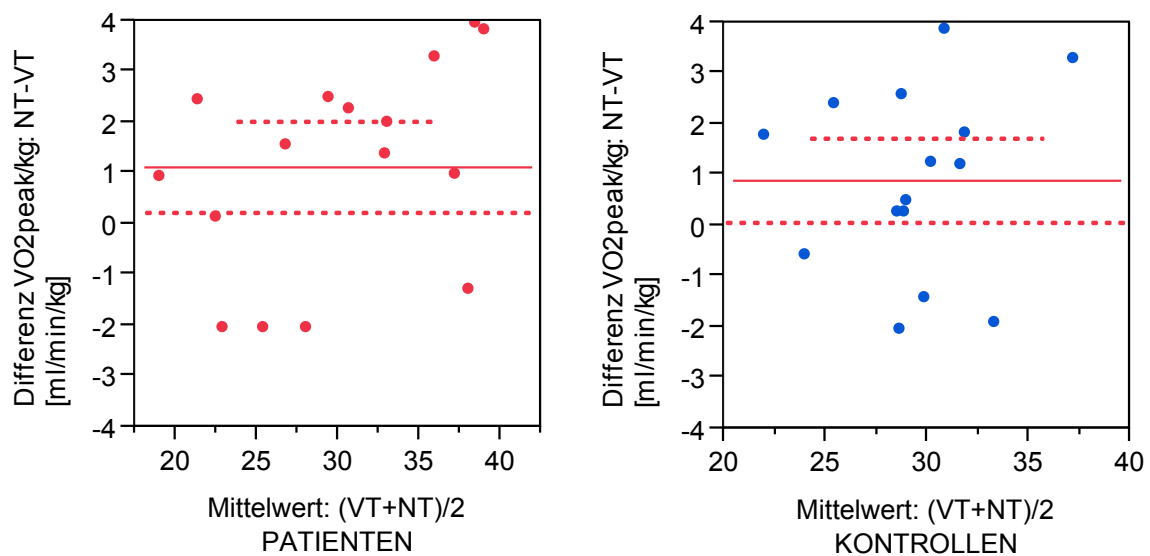


Abbildung 5.45: Trainingseffekte *Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme*

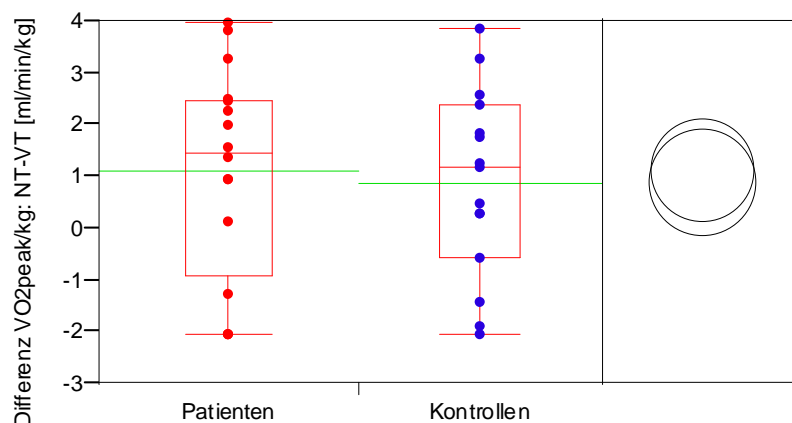


Abbildung 5.46: Vergleich Trainingseffekte *Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme*

#### 5.5.1.4 Submaximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ an vAT)

##### Trainingseffekte *Submaximale Sauerstoffaufnahme*

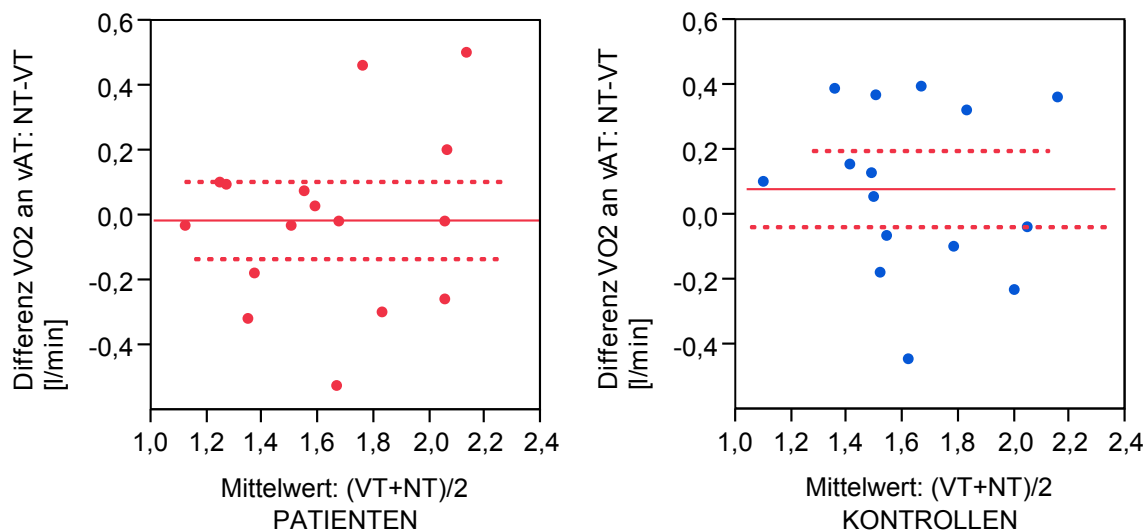
Das NW-Trainingsprogramm bewirkte in der submaximalen Sauerstoffaufnahme weder bei den Patienten, noch bei den Kontrollen eine Änderung der Mittelwerte. Allerdings ist in Abbildung 5.47 in der Kontrollgruppe deskriptiv eine leichte Erhöhung der Messgröße zu sehen. In der Patientengruppe



Tabelle 5.22: Trainingseffekte *Maximal erreichte relative Sauerstoffaufnahme*

Trainingseffekte								
$VO_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	29,5 ± 6,3	30,6 ± 7,1	1,1	2,2	15	2,0	0,2	0,02
<b>Kontrollen</b>	28,9 ± 3,7	29,8 ± 3,9	0,9	1,9	14	1,7	0,1	0,04
Vergleich Trainingseffekte								
$VO_{2peak}/kg$ [ml/kg/min]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT</b>	1,1 ± 2,1	0,9 ± 1,8	0,2	0,3	29	1,7	-1,2	0,74

erhöhten sieben Probanden eine Leistungsverbesserung, während sich die Leistung bei vier Patienten nicht veränderte und bei fünf Patienten verschlechterte. In der Kontrollgruppe erreichten neun Patienten eine Leistungserhöhung durch das Training, wohingegen sich sechs Kontrollen leicht bis mäßig verschlechterten. Beide Gruppen sind sehr variabel in ihren Ergebnissen, wie an den großen 90% Konfidenzintervallen zu erkennen ist (siehe auch Tabelle 5.23).

Abbildung 5.47: Trainingseffekte *Submaximale Sauerstoffaufnahme*

Wie in Abbildung 5.48 dargestellt ist, sind im statistischen Gruppenvergleich der Trainingsanpassung in der submaximalen Sauerstoffaufnahme kein Unterschied zu erkennen.

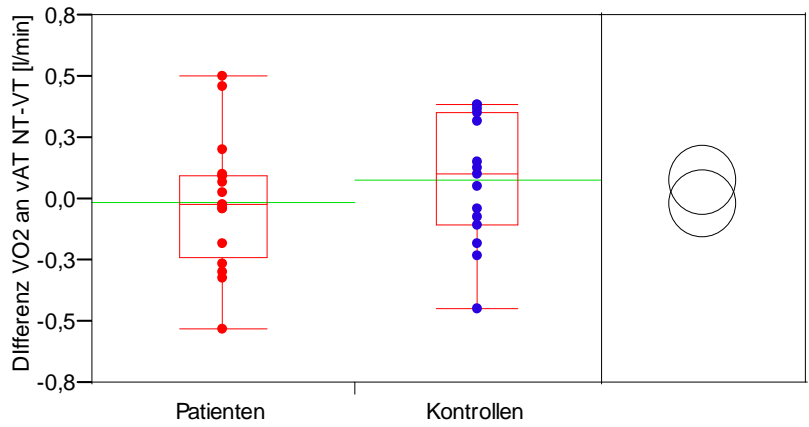


Abbildung 5.48: Vergleich Trainingseffekte *Submaximale Sauerstoffaufnahme*

Tabelle 5.23: Trainingseffekte *Submaximale Sauerstoffaufnahme*

Trainingseffekte								
$VO_2$ an vAT [l/min]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	1,7 ± 0,3	1,6 ± 0,4	-0,02	-0,2	15	0,1	-0,1	0,59
Kontrollen	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,3	0,08	1,2	14	0,2	-0,04	0,13
Vergleich Trainingseffekte								
$VO_2$ an vAT [l/min]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	-0,02 ± 0,3	0,08 ± 0,3	-0,09	-1,0	29	0,1	-0,3	0,33

### 5.5.1.5 Submaximaler Atemäquivalent ( $VE/VO_2$ an vAT)

#### Trainingseffekte *Submaximaler Atemäquivalent*

In Tabelle 5.24 ist zu erkennen, dass die Kontrollen einen niedrigeren Atemäquivalent erzielten als die Patienten. Eine Verringerung dieser Messgröße würde entsprechend eine Verbesserung des Atemäquivalents bedeuten. Wie Abbildung 5.49 zeigt, blieb der submaximale Atemäquivalent in der Patientengruppe im Mittelwert unverändert, während er sich in der Kontrollgruppe nach dem Training durchschnittlich erhöhte und damit leicht verschlechterte. In der Patientengruppe sind sechs Patienten erkennbar, deren Atemäquivalent nach dem Training erhöht war, während sich zehn Patienten leicht bis mäßig verbesserten. In der Kontrollgruppe sind acht Probanden zu beobachten, die ihre Leistung verschlechtern, wohingegen sieben Kontrollen das Atemäquivalent nach Training beibehielten oder sich darin leicht verbesserten. Die Patientengruppe variiert in ihren Ergebnissen stärker als die Kontrollen.

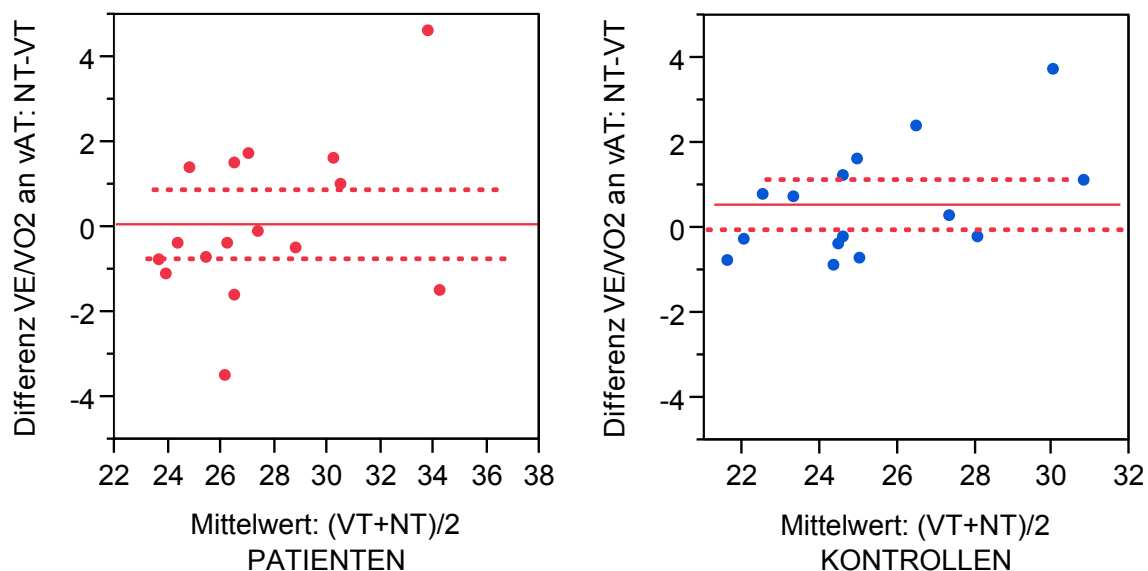


Abbildung 5.49: Trainingseffekte *Atemäquivalent an vAT*

Der statistische Gruppenvergleich für die Trainingsanpassung des submaximalen Atemäquivalents zeigt keinen Unterschied (siehe Abbildung 5.50). In der Abbildung ist die große Streuung der Patientengruppe nochmals deutlich zu erkennen.

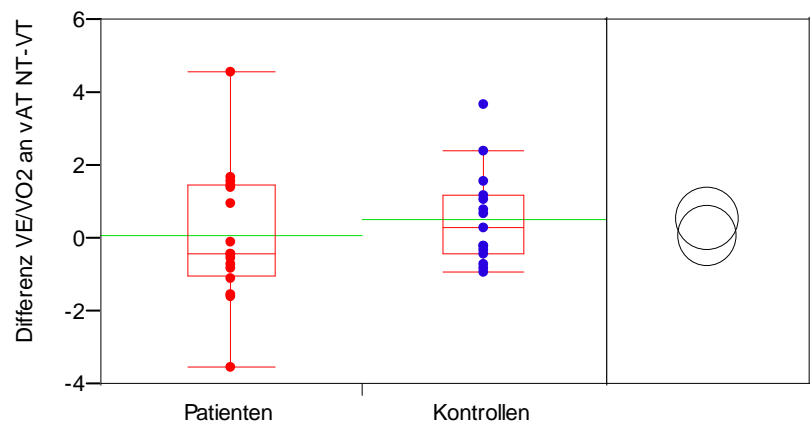


Abbildung 5.50: Vergleich Trainingseffekte Atemäquivalent an vAT

Tabelle 5.24: Trainingseffekte Atemäquivalent an vAT

Trainingseffekte								
$VE/VO_2$ an vAT	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	27,5 ± 3,0	27,5 ± 3,7	0,1	0,2	15	0,9	-0,7	0,56
Kontrollen	25,1 ± 2,5	25,6 ± 3,1	0,6	1,7	14	1,4	-0,04	0,94
Vergleich Trainingseffekte								
$VE/VO_2$ an vAT	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	0,1 ± 1,9	0,6 ± 1,3	-0,5	-0,8	29	0,7	-1,7	0,42

### 5.5.1.6 Gehökonomie

#### Trainingseffekte *Gehökonomie*

Das 12-wöchige NW-Training bewirkte in beiden Stufen und in beiden Gruppen durchschnittlich keine Veränderung in der Gehökonomie, wie die Abbildungen 5.51 und 5.52, sowie die Tabellen 5.25 und 5.26 aufzeigen. In den beiden Grafiken ist ebenfalls gut zu erkennen, dass die Patienten in Stufe 2 und Stufe 3 im Vergleich zu den Kontrollen in ihren gemittelten Leistungen (untere Skala in der Abbildung) sehr variabel sind, während sie in der Trainingsanpassung (linke Skala in der Abbildung) eine ähnliche Datenstreuung aufweisen wie die Kontrollen. In der Kontrollgruppe zeigt sich ein extremer Ausreisser, der sich in der Leistung, wie auch in der Trainingsanpassung in beiden Stufen von allen anderen Gesunden unterscheidet.

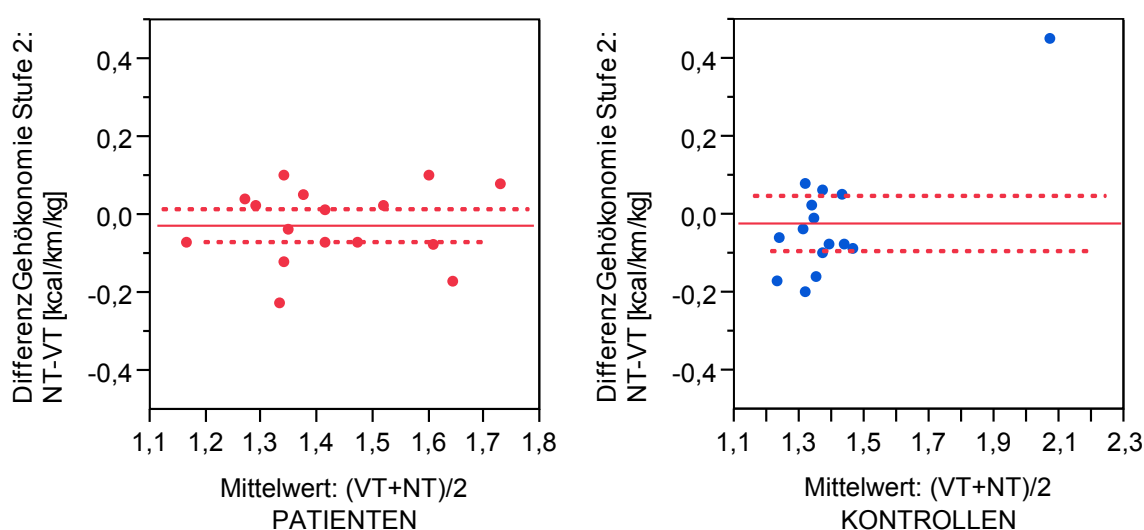
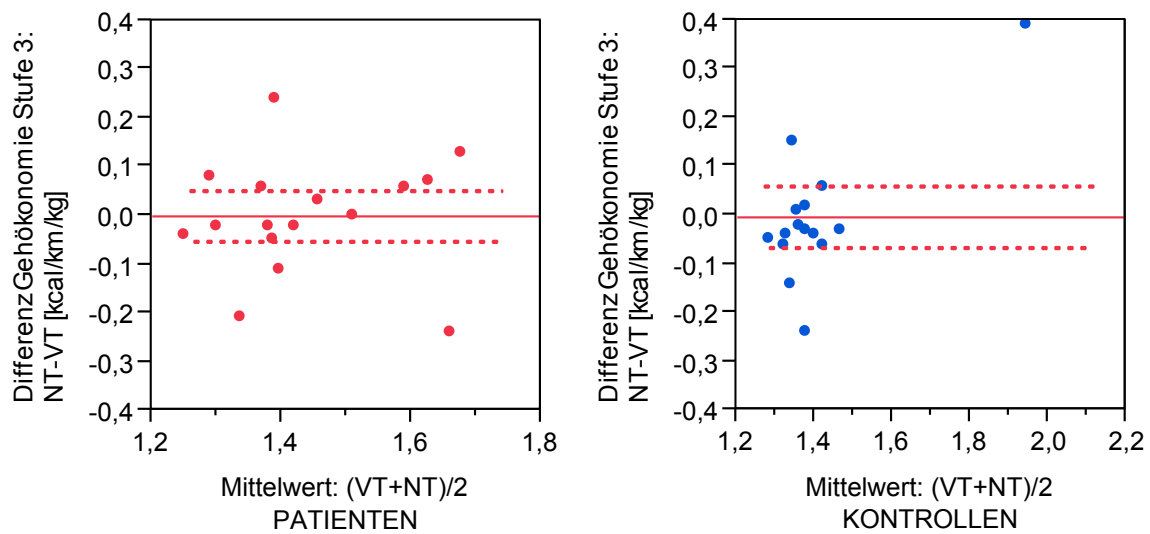
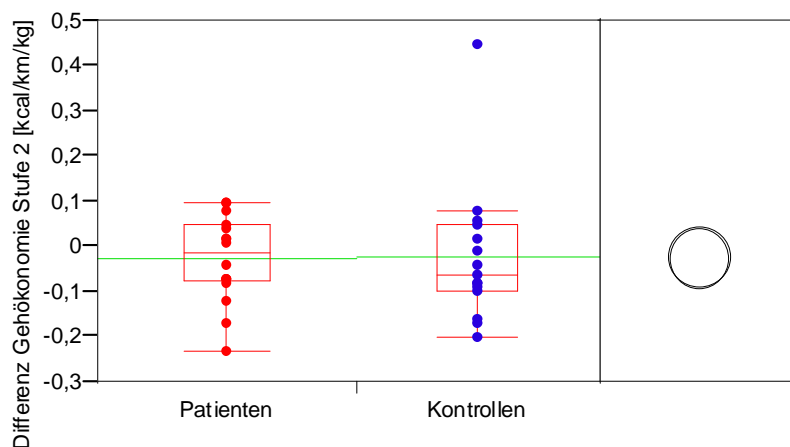


Abbildung 5.51: Trainingseffekte *Gehökonomie auf Stufe 2*

Abgesehen von dem einen extremen Ausreisser in der Kontrollgruppe unterscheiden sich die beiden Gruppen in der Trainingsanpassung der Gehökonomie auf Stufe 2 im Mittel nicht voneinander (siehe Abbildungen 5.53). In der Gehökonomie auf Stufe 3 sind im Mittel ebenfalls keine Unterschiede zu beobachten. Die Patientengruppe streut in ihren Ergebnissen etwas höher als die Kontrollgruppe, wobei in beiden Gruppen Ausreisser zu erkennen sind: In der Patientengruppe je ein Ausreisser in die positive und in die negative Richtung, in der Kontrollgruppe zwei in die positive und ein in die negative Richtung. Wie in den Tabellen 5.25 und 5.26 zu erkennen ist, bestanden vor Training im Durchschnitt keine Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen. Auch nach dem Training sind keine Leistungsunterschiede zwischen den Patienten und den Kontrollen zu beobachten.

Abbildung 5.52: Trainingseffekte *Gehökonomie auf Stufe 3*Abbildung 5.53: Vergleich Trainingseffekte *Gehökonomie auf Stufe 2*

### 5.5.2 Laktatanalyse

Vier Probanden haben im Stufentest während einem oder beiden Messterminen (VT = vor Training, NT = nach Training) die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) nicht erreicht und mussten aus diesem Grund aus der Auswertung der Laktatmesswerte an der IAS ausgeschlossen werden. Die Auflistung dieser Dropouts ist in Tabelle 5.27 und die entsprechende Zusammenfassung dieser Stichprobe ist in Tabelle 5.28 dargestellt. Für alle anderen Laktatmesswerte gilt die Stichprobe aus Tabelle 5.20.

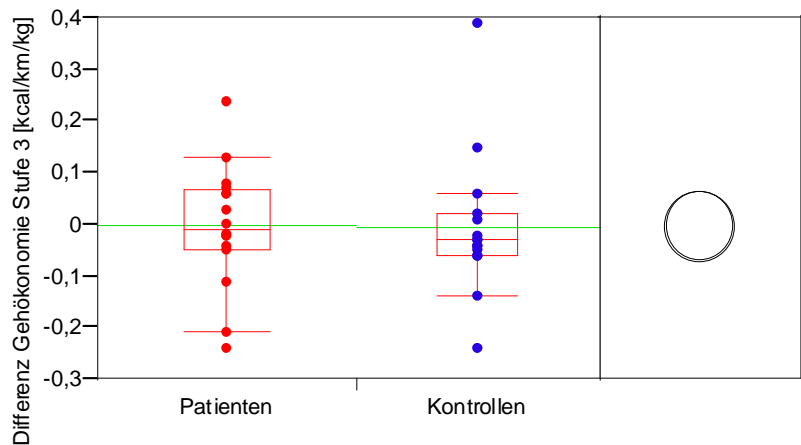


Abbildung 5.54: Vergleich Trainingseffekte *Gehökonomie auf Stufe 3*

Tabelle 5.25: Trainingseffekte *Gehökonomie Stufe 2*

Trainingseffekte								
Gehöko- nomie Stufe 2 [kcal/km/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	-0,03	-1,1	15	0,02	-0,07	0,14
Kontrollen	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,3	-0,02	-0,5	14	0,05	-0,09	0,30
Vergleich Trainingseffekte								
Gehöko- nomie Stufe 2 [kcal/km/kg]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	-0,03 ± 0,10	-0,02 ± 0,16	-0,005	-0,1	29	0,09	-0,10	0,92

### 5.5.2.1 Stichprobe Laktatanalyse an IAS

Wie in Tabelle 5.28 dargestellt, bestehen statistisch keine Unterschiede in Alter, Größe und Gewicht der beiden Gruppen. Die Kontrollen sind im Mittel 2 Jahre jünger, 2,8 % kleiner und 6,6 % leichter als die Patienten. Dagegen ist die Geschlechterverteilung deutlich unterschiedlich. Die Patientengruppe

Tabelle 5.26: Trainingseffekte *Gehökonomie Stufe 3*

Trainingseffekte								
<b>Gehökonomie Stufe 3</b> [kcal/km/kg]	Mittelwert ± Stabw. <b>VT</b>	Mittelwert ± Stabw. <b>NT</b>	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheitsgrade	90% Konfidenzintervall obere Grenze	90% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,2	-0,003	-0,1	15	0,05	-0,06	0,47
<b>Kontrollen</b>	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,2	-0,005	-0,2	14	0,06	-0,07	0,44
Vergleich Trainingseffekte								
<b>Gehökonomie Stufe 3</b> [kcal/km/kg]	Mittelwert ± Stabw. <b>Patienten</b>	Mittelwert ± Stabw. <b>Kontrollen</b>	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheitsgrade	95% Konfidenzintervall obere Grenze	95% Konfidenzintervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT</b>	-0,003 ± 0,12	-0,005 ± 0,14	0,003	0,1	29	0,10	-0,09	0,95

Tabelle 5.27: *Dropout Liste Laktatanalyse an IAS*

Probanden-ID	Begründung
PSS07	IAS an VT nicht erreicht
PSS14	IAS an VT nicht erreicht
PSS19	IAS an VT nicht erreicht
PSS27	IAS an VT und NT nicht erreicht

besteht aus 3 ♀, 10 ♂, die Kontrollen aus 8 ♀, 6 ♂. Von den Patienten wird ein Hoehn & Yahr Stadium im Mittel von  $2,0 \pm 0,1$ , ein UPDRS Score von  $26,5 \pm 8,0$  und eine Krankheitsdauer von  $4,3 \pm 2,8$  Jahren erreicht.

Tabelle 5.28: Stichproben *Laktatanalyse an IAS*

	Patienten (n=13)	Kontrollen (n=14)
Alter [Jahre]	67 ± 6	65 ± 6
Größe [cm]	172,3 ± 8,1	167,4 ± 10,4
Gewicht [kg]	79,7 ± 9,8	74,4 ± 12,2
Geschlecht	3 ♀, 10 ♂	8 ♀, 6 ♂
Hoehn & Yahr Stadium	2,0 ± 0,1	-
UPDRS Motorik [Score]	26,5 ± 8,0	-
Krankheitsdauer [Jahre]	4,3 ± 2,8	-



### 5.5.2.2 Relative Leistung an LT

#### Trainingseffekte *Relative Leistung an LT*

Die Patientengruppe erzielte eine statistisch signifikante Erhöhung der durchschnittlichen relativen Leistung an LT um  $0,07 \pm 0,09$  Watt/kg ( $p=0,008$ ), während die Kontrollen in ihrer Leistung unverändert blieben (Differenz  $0,02 \pm 0,08$  Watt/kg) (siehe Abbildung 5.55). In der Patientengruppe erreichten zehn Patienten eine leichte bis deutliche Leistungsverbesserung, während sich drei Patienten leicht verschlechterten. In der Kontrollgruppe waren es acht Probanden, deren Leistung nach Training höher lag als davor, wohingegen bei sechs Kontrollen die Leistung gleich blieb oder sich verringerte. Beide Gruppen streuen in ihren Ergebnissen ähnlich hoch.

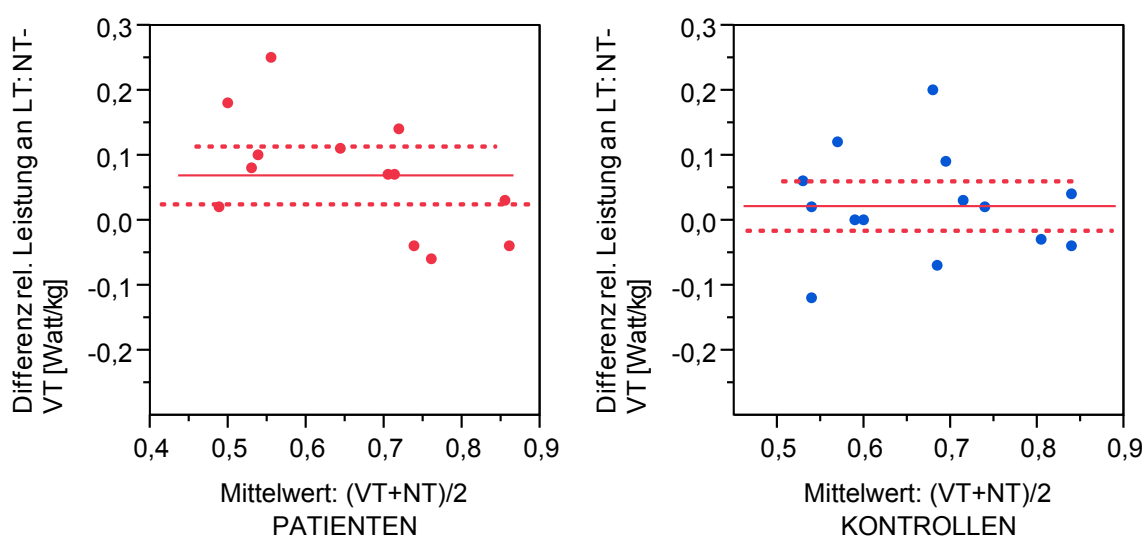


Abbildung 5.55: Trainingseffekte *Relative Leistung an LT*

Im statistischen Vergleich der Trainingsanpassung unterscheiden sich die Gruppen im Mittel nicht (siehe Abbildung 5.56 und Tabelle 5.29). Allerdings ist grafisch eine leichte Tendenz zu erkennen, nach der die Patienten einen etwas höheren Leistungszuwachs erzielten, als die Kontrollen.

### 5.5.2.3 Relative Leistung an IAS

#### Trainingseffekte *Relative Leistung an IAS*

Wie in Abbildung 5.57 und Tabelle 5.30 zu sehen ist, erhöhten beide Gruppen ihre mittlere relative Leistung an der IAS nach dem NW-Trainingsprogramm. Die Patienten verbesserten sich um  $0,11 \pm 0,14$  Watt/kg ( $p=0,005$ ), die Kontrollen um  $0,08 \pm 0,08$  Watt/kg ( $p=0,001$ ). In der Patientengruppe erreichten elf Patienten eine Erhöhung der Leistung, während zwei Patienten in ihrer Leistung

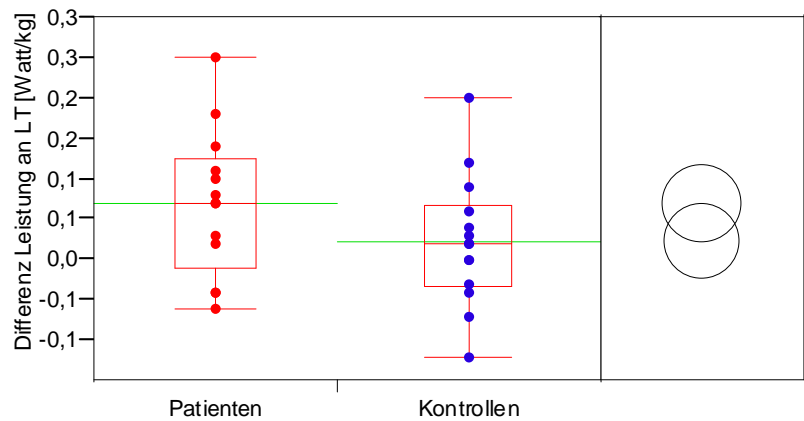


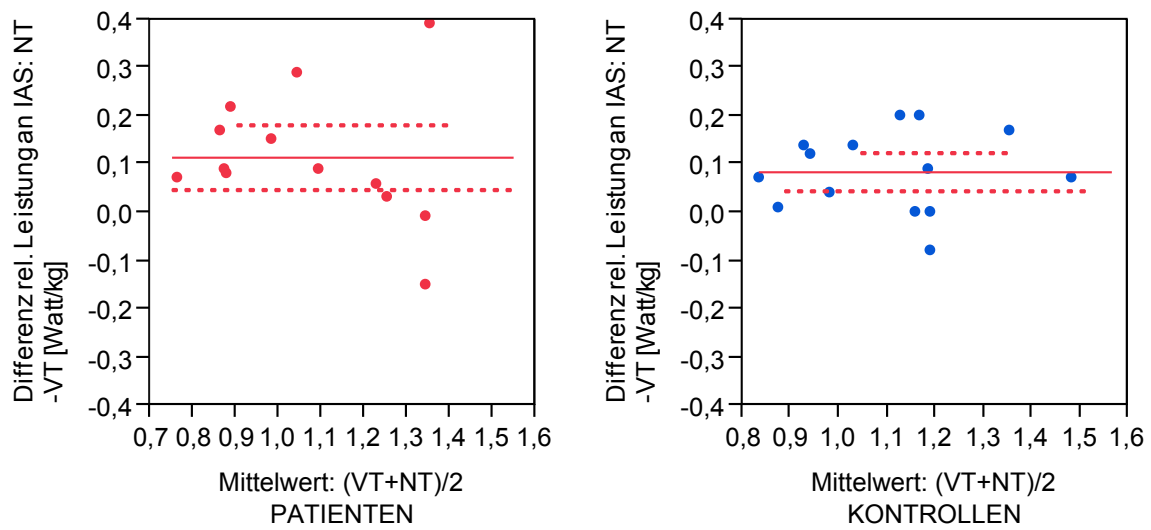
Abbildung 5.56: Vergleich Trainingseffekte *Relative Leistung an LT*

Tabelle 5.29: Trainingseffekte *Relative Leistung an LT*

Trainingseffekte								
rel. Leistung LT [Watt/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,07	2,8	12	0,11	0,03	0,008
Kontrollen	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,02	1,1	13	0,06	-0,02	0,15
Vergleich Trainingseffekte								
rel. Leistung LT [Watt/kg]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	0,07 ± 0,09	0,02 ± 0,08	0,05	1,4	25	0,12	-0,02	0,16

unverändert blieben oder sich leicht verschlechterten. In der Kontrollgruppe verbesserten sich zehn Probanden, wogegen sich vier nicht veränderten, oder die Leistung verringerten. Wie an dem großen 90%-Konfidenzintervall in der Patientengruppe zu sehen ist, streuen diese in ihren Werten deutlich höher als die Kontrollen.

Abbildung 5.58 stellt deutlich dar, dass sich die beiden Gruppen in ihrer Trainingsanpassung der

Abbildung 5.57: Trainingseffekte *Relative Leistung an IAS*

durchschnittlichen relativen Leistung an der IAS nicht unterscheiden. Die höhere Streuung der Differenzen in der Patientengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe ist in dieser Abbildung nochmals deutlich zu erkennen.

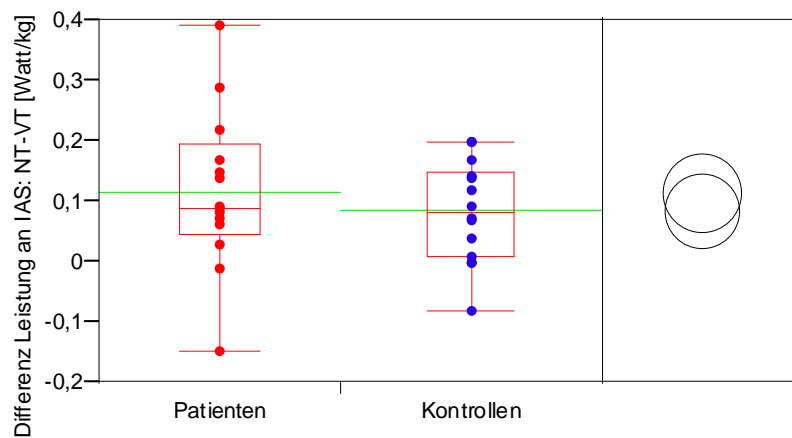
Abbildung 5.58: Vergleich Trainingseffekte *Relative Leistung an IAS*

Tabelle 5.30: Trainingseffekte *Relative Leistung an IAS*

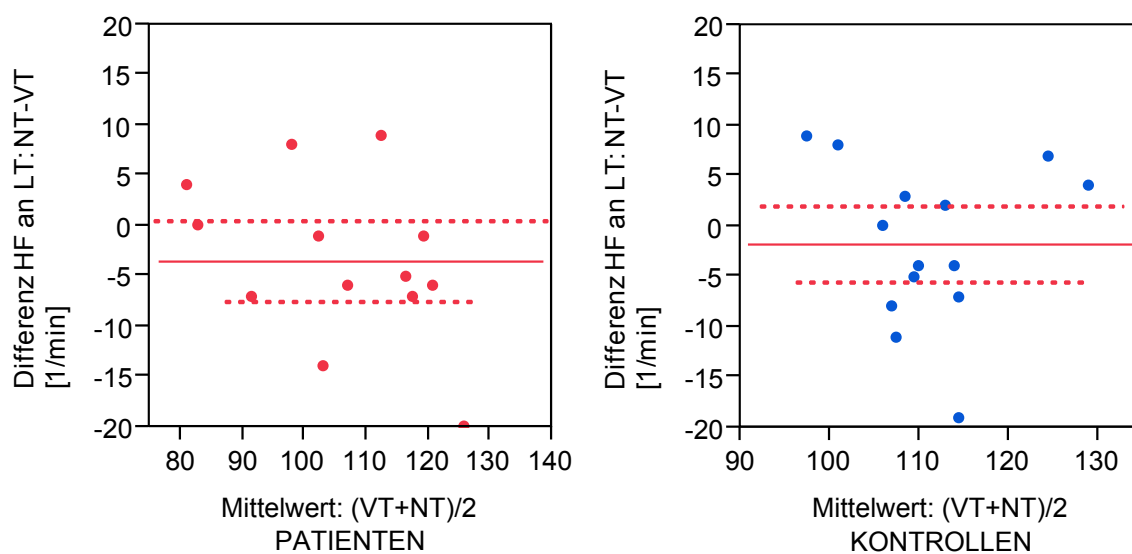
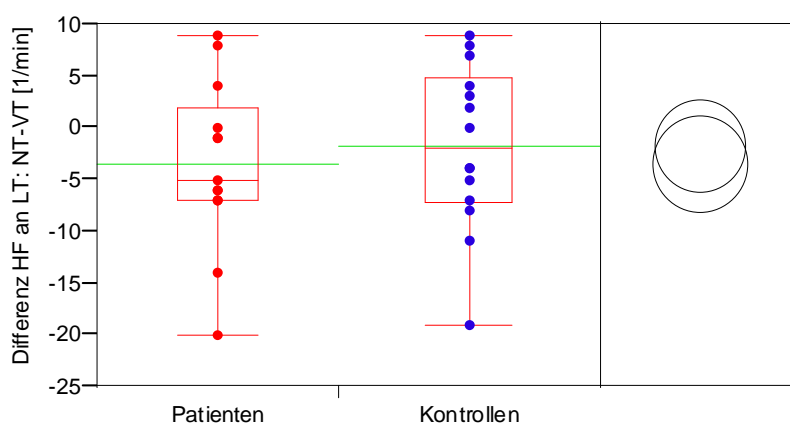
Trainingseffekte								
rel. Leistung IAS [Watt/kg]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,2	0,11	3,0	12	0,18	0,05	0,005
Kontrollen	1,1 ± 0,2	1,2 ± 0,2	0,08	3,7	13	0,12	0,04	0,001
Vergleich Trainingseffekte								
rel. Leistung IAS [Watt/kg]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	0,11 ± 0,14	0,08 ± 0,08	0,03	0,7	25	0,12	-0,06	0,49

#### 5.5.2.4 Herzfrequenz an LT (*HF* an LT)

##### Trainingseffekte *Herzfrequenz an LT*

In der durchschnittlichen Herzfrequenz an der LT zeigt die Patientengruppe eine positive Trainingsanpassung um ca. 4 Schläge/min, womit statistisch eine klare Tendenz ( $p=0,07$ ) erreicht wurde. Auch in der Kontrollgruppe ist deskriptiv in Abbildung 5.59 eine Verminderung der Herzfrequenz zu erkennen, jedoch ohne statistische Relevanz (siehe auch Tabelle 5.31). In der Patientengruppe erreichten neun Patienten eine leichte bis starke Verringerung der Herzfrequenz, während diese bei ein Patienten gleich blieb und sich bei drei Patienten nach Training erhöhte. In der Kontrollgruppe verringerten sieben Probanden die Herzfrequenz, wogegen sie bei ein Probanden unverändert blieb und sich bei sechs Probanden verschlechterte. Beide Gruppen variieren in ihren Ergebnissen ähnlich hoch.

Der statistische Gruppenvergleich der Trainingseffekte in der Herzfrequenz an der LT zeigt keinen Unterschied, wie in Abbildung 5.60 zu sehen ist. Gut zu erkennen ist die hohe und zwischen den Gruppen ähnliche Streuung der Daten.

Abbildung 5.59: Trainingseffekte *Herzfrequenz an LT*Abbildung 5.60: Vergleich Trainingseffekte *Herzfrequenz an LT*

### 5.5.2.5 Herzfrequenz an IAS (*HF an IAS*)

#### Trainingseffekte *Herzfrequenz an IAS*

Wie in Abbildung 5.61 und Tabelle 5.32 zu erkennen ist, variieren beide Gruppen in ihrer Herzfrequenz an der IAS sehr hoch, so dass im Mittelwert statistisch keine Trainingseffekte erreicht wurden. Jedoch zeigen acht Patienten eine Verbesserung der HF, während sich bei fünf Patienten die Herzfre-

Tabelle 5.31: Trainingseffekte Herzfrequenz an LT

Trainingseffekte								
<i>HF</i> an LT	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	108 ± 17	104 ± 13	-3,5	-1,6	12	0,5	-7,6	0,07
Kontrollen	112 ± 9	110 ± 9	-1,8	-0,8	13	2,0	-5,6	0,21
Vergleich Trainingseffekte								
<i>HF</i> an LT	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	-3,5 ± 8,1	-1,8 ± 8,0	-1,8	-0,6	25	4,6	-8,1	0,58

quenz nach Training leicht erhöhte. In der Kontrollgruppe verringerten ebenfalls fünf Probanden ihre Herzfrequenz, wogegen drei Kontrollen in ihrer Herzfrequenz gleich blieben und sechs Kontrollen sich leicht bis mäßig verschlechterten. Beide Gruppen streuen in ihren Ergebnissen ähnlich hoch.

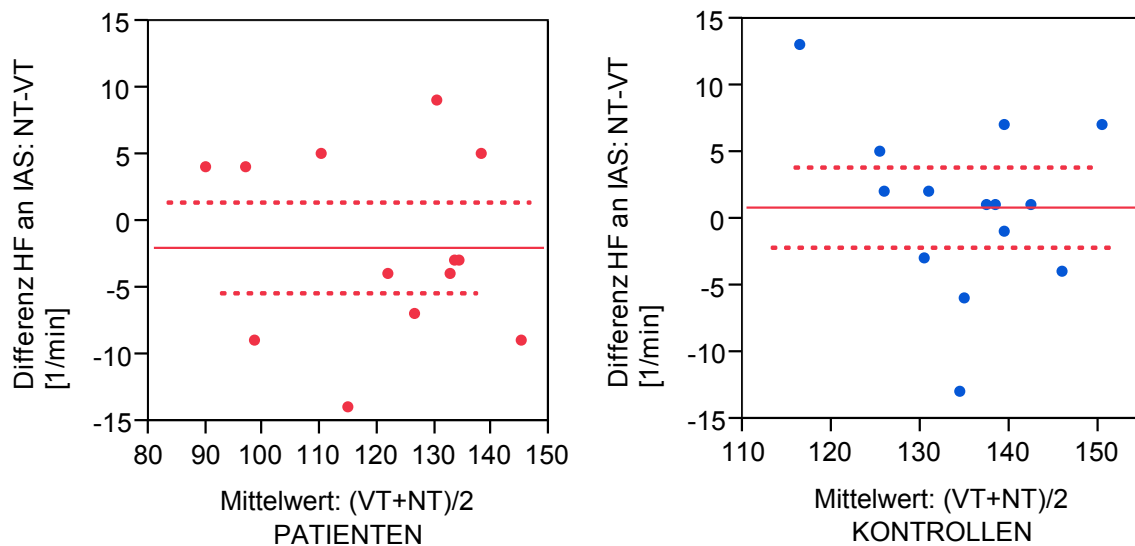


Abbildung 5.61: Trainingseffekte Herzfrequenz an IAS

Der Gruppenvergleich der Trainingseffekte zeigt keine klaren Unterschiede (siehe Abbildung 5.62).

Allerdings ist grafisch eine leichte Tendenz der Patientengruppe zur Verringerung der HF zu erkennen. Ebenfalls gut zu erkennen in diesem Grafen ist die hohe Streuung der Daten in beiden Stichproben.

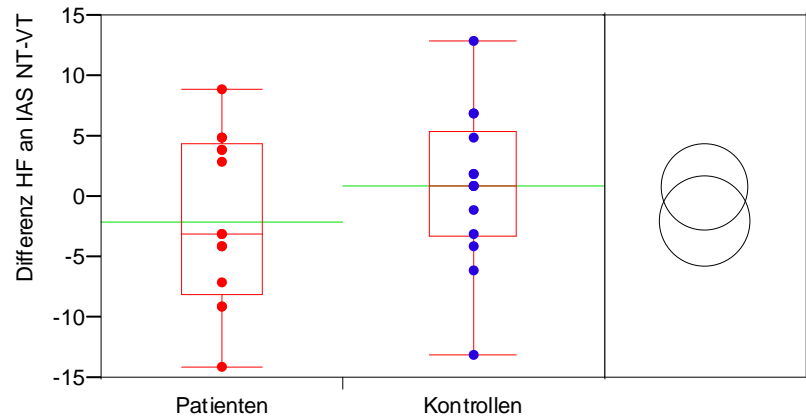


Abbildung 5.62: Vergleich Trainingseffekte *Herzfrequenz an IAS*

Tabelle 5.32: Trainingseffekte *Herzfrequenz an IAS*

Trainingseffekte								
<i>HF an IAS</i>	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Patienten</b>	122 ± 18	120 ± 17	-2	-1,1	12	1,4	-5,4	0,16
<b>Kontrollen</b>	135 ± 10	136 ± 9	0,9	0,5	13	3,9	-2,2	0,69
Vergleich Trainingseffekte								
<i>HF an IAS</i>	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz $\Delta$	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
<b>Differenz NT-VT</b>	-2,0 ± 6,9	0,9 ± 6,4	-2,9	-1,1	25	2,4	-8,1	0,27

### 5.5.2.6 Laktat an IAS

#### Trainingseffekte *Laktat an IAS*

Wie in der Abbildung 5.63 und in der Tabelle 5.33 zu sehen ist, erreichten die Kontrollen durchschnittlich statistisch signifikant niedrigere Laktatwerte an der IAS (Differenz:  $-0,2 \pm 0,4$  mmol/l) ( $p=0,04$ ), während sich die Werte der Patienten im Mittel nicht veränderten (Differenz:  $0,03 \pm 0,4$  mmol/l). Die Patientengruppe ist in der gemittelten Laktatkonzentration an der IAS (untere Skala in der Abbildung) sowie in der Trainingsanpassung (linke Skala) deutlich variabler als die Kontrollgruppe. In der Patientengruppe verringerten fünf Patienten die Laktatkonzentration an der IAS, während drei Patienten darin unverändert blieben und sich bei fünf Patienten die Laktatkonzentration nach Training erhöhte. In der Kontrollgruppe verbesserten sich elf Probanden durch das Training in der Laktatkonzentration, während drei Probanden darin unverändert blieben oder leicht verschlechterten. In dieser Gruppe ist ein starker Ausreisser zu erkennen, der nach dem Training deutlich niedrigere Laktatwerte aufzeigte als zuvor.

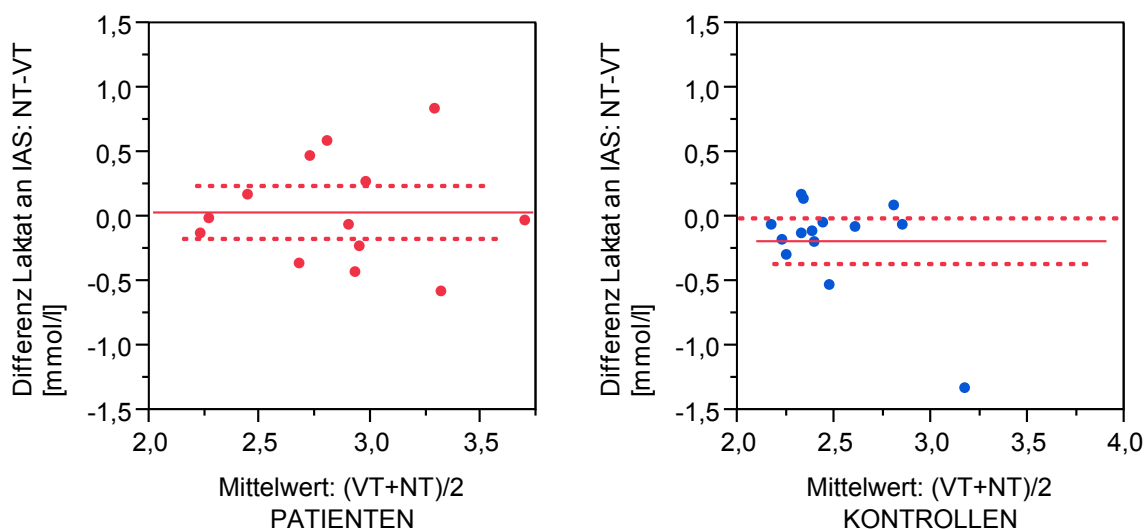


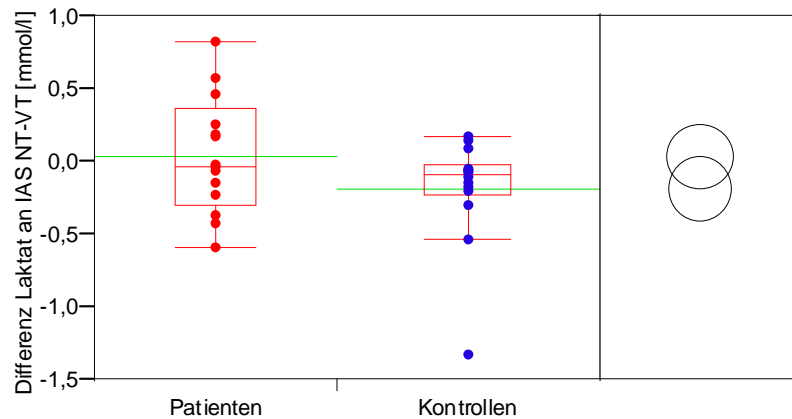
Abbildung 5.63: Trainingseffekte *Laktat an IAS*

Ein Vergleich der Trainingseffekte weist im Mittel keinen klaren Unterschied zwischen den Stichproben auf (siehe Abbildung 5.64). Deskriptiv ist eine Tendenz zu erkennen, nach der sich die Kontrollen im Vergleich zu den Patienten verbesserten, wobei die Streuung der Ergebnisse in der Patientengruppe höher ist als in der Kontrollgruppe.

### 5.5.2.7 Zusammenfassung Leistungsdiagnostik

Das 12-wöchige NW-Training bewirkte bei den Patienten eine statistisch signifikante Erhöhung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme, sowie der relativen Leistung an der LT und an der



Abbildung 5.64: Vergleich Trainingseffekte *Laktat an IAS*Tabelle 5.33: Trainingseffekte *Laktat an IAS*

Trainingseffekte								
Laktat an IAS [mmol/l]	Mittelwert ± Stabw. VT	Mittelwert ± Stabw. NT	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	90% Konfidenz- intervall obere Grenze	90% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Patienten	2,9 ± 0,5	2,9 ± 0,5	0,03	0,3	12	0,2	-0,2	0,61
Kontrollen	2,6 ± 0,4	2,4 ± 0,2	-0,2	-1,9	13	0,01	-0,37	0,04
Vergleich Trainingseffekte								
Laktat an IAS [mmol/l]	Mittelwert ± Stabw. Patienten	Mittelwert ± Stabw. Kontrollen	Differenz Δ	t-Wert	Freiheits- grade	95% Konfidenz- intervall obere Grenze	95% Konfidenz- intervall untere Grenze	p-Wert
Differenz NT-VT	0,03 ± 0,4	-0,2 ± 0,4	0,2	1,5	25	0,5	-0,1	0,16

IAS. Außerdem sind klare Tendenzen zur Verbesserung in der absoluten maximal erreichten Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz an der LT zu beobachten.

Die Kontrollgruppe erzielte durch das Training signifikante Verbesserungen in der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme, in der relativen Leistung an der IAS und in der Laktatkonzentration an der IAS, während sich die absolute maximal erreichte Sauerstoffaufnahme tendenziell erhöhte.

---

Alle anderen Messgrößen der jeweiligen Stichprobe zeigten keine Trainingsanpassungen. Beide Gruppen variieren in ihren Ergebnissen überwiegend ähnlich hoch. Im statistischen Vergleich der Trainingseffekte unterscheiden sie sich nicht.

---

## 6 Diskussion

### 6.1 Methodenkritik

#### 6.1.1 Stichprobe

##### Fallzahl

Die Parkinsonkrankheit kann durch die krankheitsbedingten, typischen Kardinalsymptome relativ präzise beschrieben werden, jedoch ist in der Regel die Ausprägung dieser, sowie der Umfang und das Ausmaß der vegetativen und psychischen Begleiterscheinungen sehr individuell. Entsprechend sollte für die Prüfung einer wissenschaftlichen Fragestellung die Probandenzahl hoch sein, um ein allgemeingültiges Ergebnis erzielen zu können. Leider konnte aus organisatorischen und wirtschaftlichen Gründen (Ausbelastung der Messgeräte, Kostenaufwand pro Messeinheit) keine hohe Probandenzahl versorgt werden. Das Ausschlusskriterium „Aktueller Trainingsstatus: Mehr als 1 Mal/Woche *Nordic Walking* oder andere Ausdauersportarten (z.B. Schwimmen, Radfahrtraining, Joggen)“ schränkte die Probandenrekrutierung zusätzlich ein, da viele Parkinsonpatienten und mögliche gesunde Kontrollpersonen häufiger Ausdauersport ausübten.

Da die vorliegenden Stichprobengrößen nicht auf Fallzahlberechnungen basieren, wurde interessenthalber im Anschluss an die Datenauswertung eine Fallzahlberechnung durchgeführt. Diese soll als Anhaltspunkt dienen, um die vorliegende Studie nach statistischen und wissenschaftlichen Aspekten besser einschätzen zu können. Sie soll außerdem als Grundlage für die Stichprobengröße möglicher Folgestudien oder zukünftiger, methodisch ähnlicher Studien dienen. Es wurden insgesamt vier Berechnungen durchgeführt: Eine Kalkulation wurde für die Messgröße UPDRS Score erhoben, um zu sehen, wie groß die Patientenstichprobe sein sollte, um eine statistisch signifikante Verbesserung der Parkinson Symptomatik zu erzielen. Des Weiteren wurde zu jeder der drei Leistungsmessmethoden (3D Kinematik, Isokinetik und Leistungsdiagnostik) jeweils eine Messgröße ausgewählt, in der einer der beiden vorliegenden Stichproben ein statistisch signifikantes Ergebnis erzielte. Die Fallzahlberechnungen wurden mit Hilfe der Statistiksoftware *JMP 10.0.0* berechnet. In Tabelle 6.1 werden die Fallzahlen für die jeweiligen Messgrößen für eine Stichprobe vorgestellt. Das Signifikanzniveau *alpha* wurde auf 0,05 und die Teststärke (Power) *1-beta* auf 0,8 angesetzt. Da die statistisch zu prüfenden Hypothesen in Bezug auf Trainingseffekte *gerichtet* sind, wurde der gepaarte t-Test *einseitig* gerechnet.

Tabelle 6.1: Fallzahlberechnungen ( $\alpha=0,05$ ;  $1-\beta=0,8$ )

Messmethode	UPDRS	3D Kinematik	Isokinetik	Leistungsdiagnostik
Messgröße	UPDRS Score	IGAIT	IsoFlex	$VO_{2peak}/kg$
Gruppe	Patienten	Kontrolle	Patienten	Patienten
p-Wert	0,08	0,01	0,004	0,02
Effekt	-2	12,9 mm	0,14 Nm/kg	1,1 ml/min/kg
Standardabweichung	5,9	22,1 mm	0,19 Nm/kg	2,1 ml/min/kg
Berechnete Fallzahl	<b>56</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>24</b>

Wie die Fallzahl für den UPDRS Score erkennen lässt, wäre für eine Patientenstichprobe wie der vorliegenden eine Anzahl von 56 Patienten notwendig, um eine statistisch signifikante Verbesserung der motorischen Symptomatik zu erreichen. Die anderen Fallzahlen zeigen, dass die erzielte Probandenzahl von 16 - 18 pro Gruppe ausreichend sein kann, um mit 80-prozentiger Wahrscheinlichkeit tatsächliche Effekte als statistisch signifikant auf dem 5% Niveau zu erkennen. Daher ist anzunehmen, dass bei allen Messgrößen, bei denen das 5-prozentige Signifikanzniveau nicht erreicht wurde, entweder keine Trainingsanpassung stattgefunden hat, oder dass die Daten zu hoch streuen, um klare Effekte statistisch zu erkennen. Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Streuung in den meisten Messgrößen tatsächlich sehr hoch. Zusammengefasst könnten diese Berechnungen ein Hinweis darauf sein, dass für Studien mit einer aus neurologischer Sicht ähnlichen Parkinsonstichprobe Fallzahlen von mindestens 56 benötigt werden, um statistisch relevante Veränderungen in der motorischen Symptomatik zu erkennen. Jedoch sind aus Sicht der drei Leistungsmessmethoden bereits Stichprobengrößen wie die der vorliegenden Studie ausreichend, um systematische Effekte darstellen zu können.

## Geschlechter-Bias

Leider ist die Geschlechterverteilung in den Gruppen aufgrund eines gezielten Einschluss von Lebenspartnern der Parkinsonpatienten in die Gruppe der *Gesunden* ungleich ausgefallen. Durch die Normierung der Ergebnisse auf das Körpergewicht wurde versucht, die Gruppenergebnisse in den Leistungsmessgrößen so weit wie möglich vergleichbar zu gestalten. Allerdings ist dies nicht ausreichend, um das Geschlechtermissverhältnis zu relativieren, weil das Körpergewicht in Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit nur einen kleinen Teil des genetischen Geschlechterunterschieds ausmacht. Da es statistisch keine methodisch sinnvolle Möglichkeit gibt, beim Vergleich der beiden Stichproben den Geschlechter-Bias mathematisch zu berücksichtigen, ist ein Gruppenvergleich nur eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund wurde auf ein Gruppenvergleich der Basiswerte (VT) verzichtet. Zudem wurden in der Literatur bereits hinreichend Leistungsunterschiede zwischen Parkinsonpatienten und Gesunden beschrieben. Da entsprechend ein Vergleich der Trainingseffekte zwischen den Gruppen ebenfalls nur eingeschränkt aussagekräftig ist, wurde dafür eine Sekundärfrage formuliert, die statistisch ungerichtet ist und dessen Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden müssen.

## Probandenausschlüsse

Von den ursprünglich 40 eingeschlossenen Probanden musste ein Proband gleich nach Studienbeginn aus der Studie ausgeschlossen werden, da dieser eine Fußoperation durchführen musste, die vor Studienbeginn bereits angedacht war, und kurz nach Studienstart statt fand. Dabei bestand kein Zusammenhang zur Studie. Vier weitere Probanden mussten nach Studienende aus der Datenauswertung ausgeschlossen werden, da bei zwei Parkinsonpatienten während dem Studienverlauf die Parkinson-Medikation umgestellt werden musste und ein Dritter leidete an einem entzündeten Ischiasnerv, wodurch dieser nur eingeschränkt trainierbar war. Ob die Ischiasverletzung durch das Training ausgelöst wurde, ist unklar, da bereits vor Trainingsbeginn leichte, aber ähnliche Beschwerden vorhanden waren. Eine Verstärkung der Symptomatik durch das Training ist jedoch denkbar.

In den Auswertungen der Leistungstests im Maximalbereich (isokinetische Kraftmessung und Leistungsdiagnostik) variieren die Zahl der Stichproben leicht, da es methodenbedingt zu Ausschlüssen aus der Datenauswertung kam. Wie in Tabelle 5.11 zu sehen ist, wurden für die gesamte Kraftauswertung zwei Probanden ausgeschlossen: Ein Proband bekam während der Messung *nach Training* (NT) Muskelkrämpfe. Entsprechend waren die Maximalkraftwerte unglaublich. Beim zweiten Proband wurde in der zweiten Messung (NT) die Hebellänge des Messbeines falsch eingestellt (Fehler des Testleiters). Entsprechend sind diese Werte nicht vergleichbar mit denen der ersten Messung (VT). In der Arbeitsweise Isometrie wurde von einem Probanden die Messdaten des linken Beins von der Auswertung ausgeschlossen, da dieser nach eigenen Angaben nur submaximale Leistung während der Messung aufgebracht hat. In der Exzentrik kam es bei drei Probanden aufgrund von Schmerzen während der Messung zum Datenausschluss, während ein Proband koordinativ überfordert war und keine Maximalkraft entwickeln konnte.

Für die Ergebnisauswertung der Spiroergometrie und Laktatanalyse wurden 5 Probanden ausgeschlossen (siehe Tabelle 5.19): Bei einem Probanden wurden Herzrhythmusstörungen im Ruhe-EKG vor der ersten Messung beobachtet, aufgrund dessen aus Sicherheitsgründen keine Maximalausbelastung durchgeführt wurde. Auch nach der Trainingsperiode wurde bei diesem Probanden auf den Test verzichtet. Ein weiterer Proband hatte über die 3-monatige Studienzeit einen Gewichtsverlust von 8 kg. Da eine Verringerung des Körpergewichts (bei Übergewichtigen) zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit führen kann, würde eine mögliche Leistungssteigerung durch die Studienintervention verwässert werden. Körperlich überfordert war ein Proband mit dem Laufband und dem Stufenprotokoll. Dieser musste sich während der Messung größtenteils mit der Hand abstützen, was ebenfalls die reelle Leistungsfähigkeit überschätzen lässt. Ein vierter Proband musste die Herzmedikation während der Studienphase verändern, was ein Vergleich zur 1. Messung unmöglich machte. Der fünfte Proband kam vor Studienbeginn frisch von einem 3-monatigen Kuraufenthalt im Ausland zurück. Ein so langer Kuraufenthalt könnte leistungssteigernd wirken, und ist aus Studiensicht gleichzusetzen mit einer Intervention. Deshalb musste dieser aus der Auswertedatei entfernt werden, um die Ergebnisse nicht zu verzerren.

---

### 6.1.2 Trainingsmethode

Das 3-monatige NW Training verlief ohne Zwischenfälle. Alle Teilnehmer waren hoch motiviert und hatten Spaß am Training, was zu einer hohen Trainingsbeteiligung führte. Es kam nur ganz vereinzelt zu Trainingsausfällen, wobei die Probanden ihre Fehleinheiten wenn möglich in der gleichen Woche selbstständig nachholten. Ohne Probleme verlief auch die Umsetzung der dritten, eigenverantwortlich durchgeführten Trainingseinheit pro Woche. Ob die hohe Motivation allein durch die Auswahl der Trainingsmethode (leichte Umsetzbarkeit, Miteinbeziehung der Lebenspartner, Geselligkeit und Gruppengefühl) ausgelöst wurde, durch die eng geführte Trainingsbetreuung, oder durch eine Kombination davon ist nicht genau einschätzbar. Wie die Ergebnisse zeigen, führte das Training mittelfristig zu Leistungsverbesserungen. Dadurch ist zu vermuten, dass langfristiges *Nordic Walking* Training einen Leistungserhalt erzielen könnte, der das progressive Voranschreiten der Parkinsonkrankheit positiv beeinflusst. Allerdings nur solange, wie das Training sicher durchgeführt werden kann. Für Parkinsonpatienten im mittleren Krankheitsstadium und für ältere Gesunde wie den vorliegenden Stichproben zeigte sich das *Nordic Walking* als gut geeignete Sporttherapie.

Eine Erfassung der langfristigen Umsetzung des *Nordic Walkings* oder anderer regelmäßiger sportlichen Betätigung wurde nicht durchgeführt. Aus therapeutischer Sicht wäre diese Fragestellung jedoch interessant und sollte für Folgestudien mit in Betracht gezogen werden.

Das Pulsmessgerät diente in erster Linie zur individuellen Leistungskontrolle während des Trainings (persönlicher Zielpuls) und zur objektiven Kontrolle der dritten, eigenverantwortlichen Trainingseinheit durch die Trainingsleiterin. Außerdem wurden die ausgelesenen Messdaten der Pulsuhren regelmäßig bezüglich Auffälligkeiten der Herztätigkeit während der Trainingseinheiten geprüft. Es wurden keine gesundheitsgefährdeten Beobachtungen festgestellt.

### 6.1.3 Messmethoden

### 6.1.4 Erfassung des UPDRS Scores

Für den motorischen Teilbereich des Testverfahrens *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* konnte in verschiedenen Studien eine hohe Reliabilität mit einem ICC Wert von 0,90 gezeigt werden. [85] [93] Um eine möglichst hohe Standardisierung der Messmethode zu erlangen, wurde in der vorliegenden Studie auf folgende Maßnahmen geachtet:

- Die Patienten wurden an allen drei Untersuchungsterminen von den gleichen Untersuchern getestet.
- Die Testung wurde zur gleichen Tageszeit und im medikamentösen *OFF*-Zustand durchgeführt.

- Die neurologische Untersuchung wurde zeitlich an die 3D Kinematik Untersuchung gekoppelt. Dadurch mussten die Patienten nur jeweils an einem Termin pro Messzeitraum ohne Medikation zur Untersuchung kommen, und die Ergebnisse der beiden Messungen (Neurologie und Bewegungsanalyse) sind ohne Störgrößen miteinander vergleichbar.

Die UPDRS ist das am meisten genutzte Messinstrument, um die Schwere der Symptomatik bei Parkinsonpatienten und dessen Verlauf zu beschreiben. Sie zeigte sich in der vorliegenden Studie als verlässliches und qualitativ ausreichendes Messinstrument.

### 6.1.5 3D Kinematik

Das 3D Kinematik Analyseverfahren von (VICON, Firma *Oxford Metrics*) ist eine Messmethode zur objektiven Beurteilung von Bewegungsabläufen und fand zusammen mit dem Ganzkörpermodell *Plug-In-Gait Marker Placement* von VICON für die Analyse der großen Ganzkörperbewegungen *Gehen* und *Aufstehen* in der vorliegenden Studie Verwendung. Insbesondere dieses Messsystem (VICON) erwies sich in einer Studie von Delval *et al.* bei Parkinsonpatienten als sehr reliabel. [86] Das Forscherteam berechnete Intraklassen Korrelationskoeffizienten „Intraclass Correlation Coefficient“ (ICC) von durchschnittlich 0,91 im Fußgelenk, 0,97 im Kniegelenk und 0,98 im Hüftgelenk. Auffallend in der Studie von Delval *et al.* war die hohe Variabilität der Fußgelenkkurven (bei allen Patienten) und der Kniegelenkkurven (bei Patienten mit Gehgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s). Insgesamt scheint nach Delval *et al.* die Variabilität der Gelenkkurven mit dem Stadium der Krankheit zu steigen, entsprechend sinkt die Reliabilität des Messverfahrens mit der Schwere der Krankheit.

Auch bei anderen Personengruppen mit Gehbehinderungen, wie beispielsweise Apoplex-Patienten (Schlaganfall), wurden für 3D Kinematik Analyseverfahren anderer Hersteller moderate bis gute ICC Werte von 0,58 - 0,94 [94] und 0,82 - 0,98 [95] erzielt. Bei Hüftarthritiden Patienten fand das Forscherteam von Laroche *et al.* ebenfalls eine moderate bis gute Reliabilität (ICC Werte von 0,77 - 0,91). [96]

Die Studie von Delval *et al.* zeigt, dass die 3D Kinematik Analyse auch für Parkinsonpatienten eine optimale Methode darstellt, um Gruppenunterschiede oder Veränderungen in der Motorik an verschiedenen Messzeitpunkten festzustellen. Um methodische Messfehler so gering wie möglich zu halten, wurde in der vorliegenden Studie darauf geachtet, dass alle Messreihen von der gleichen Testleiterin zur gleichen Tageszeit, nach dem gleichen Messprotokoll und mit den gleichen verbalen Bewegungsaufforderungen durchgeführt wurden. Außerdem wurden die Patienten im *OFF*-Zustand gemessen, um den Einfluss von medikamentösen Fluktuationen in der Bewegungsfähigkeit weitestgehend zu vermeiden. Trotzdem müssen zur Interpretation der 3-D Messdaten folgende Punkte beachtet werden:

- Die auf der Haut aufgeklebten Marker können sich in der Bewegung mit der Haut verschieben, was zu Messfehlern führen kann.

- Die Positionierung der Marker wird durch anatomische Merkmale festgelegt. Eine dauerhafte Markierung der Marker für die Wiederholungsmessung wäre ratsam, konnte aber in der vorliegenden Studie nicht angebracht werden, da die Messreihen 3 Monate auseinander lagen.
- Für die Durchführung der Bewegungsaufgabe *Aufstehen* wäre für die Anpassung der individuellen Körpergrößen der Probanden ein höhenverstellbarer Stuhl von Vorteil. Jedoch stand ein solcher für die vorliegende Studie nicht zur Verfügung, so dass alle Probanden den gleich geregelten Stuhl für beide Messzeitpunkte nutzten.

### 6.1.6 Isokinetische Kraftmessung

Das isokinetische Kraftmesssystem wird wegen seiner hohen Standardisierungsmöglichkeit gerne für wissenschaftliche Fragestellungen genutzt. Auch für gehbehinderte Personen wie beispielsweise Patienten mit Apoplex hat sich dieses Messsystem als reliable Messmethode bewährt. [88] [97] [98] In der Studie von Hsu *et al.* [97] wurde bei Apoplex Patienten die Kniestreckkraft in 2 konzentrischen Geschwindigkeiten gemessen, dabei wurden die Ergebnisse auf das Körpergewicht normiert. Die Forschergruppe konnte ICC Werte von 0,91 auf der *weniger betroffenen* Beinseite, und 0,86 auf der *mehr betroffenen* Beinseite in der langsamen Geschwindigkeit (30°/s) errechnen. In der höheren Geschwindigkeit (90°/s) wurden Werte von 0,91 (*weniger betroffenes* Bein) und 0,94 (*mehr betroffenes* Bein) erzielt. Entsprechend schlussfolgert die Forschergruppe eine höhere Reliabilität in der höheren Geschwindigkeit. Auch in der Studie von Clark *et al.* [88] konnte für die Knieextensoren in der konzentrischen und exzentrischen Arbeitsweise ICC-Werte von 0,86 - 0,97 beobachtet werden. Allerdings erreichten nicht alle Patienten die hohen Messgeschwindigkeiten von über 150°/s. Die Forschergruppe von Noorizadeh *et al.* [98] errechnete ebenfalls eine hohe Reliabilität des isokinetischen Kraftmesssystems bei Apoplex Patienten. Dabei erzielten sie in der konzentrischen Knieextension und -flexion eine hohe Reliabilität (ICC 0,85 - 0,99), wobei die Flexoren im *mehr betroffenen* Bein eine höhere Variabilität zeigten.

Leider liegen bisher speziell für Parkinsonpatienten keine Reliabilitätsstudien vor. Allerdings deutet eine Studie von Paul *et al.* [99] darauf hin, dass auch Parkinsonpatienten die Maximalkraft in der Knieextension reliabel wiedergeben können. Die Parkinsonpatienten erzielten auf der Beinpresse ICC-Werte von 0,96 - 0,97.

Um das methodische Fehlerpotenzial der isokinetischen Kraftmessung zu minimieren, wurde bei den Messreihen darauf geachtet, dass der Testleiter, die Testzeit und das Testprotokoll über die beiden Messreihen konstant blieben. Außerdem wurden die Parkinsonpatienten aufgefordert, 1 h vor der Messung eine zusätzliche L-Dopa Medikation (Levodopa/Benserazid 100/25 mg) einzunehmen, um eine maximale Beweglichkeit zu erlangen und möglichen krankheitsbedingten Tagesfluktuationen entgegen zu wirken. Ein weiteres Ziel bestand in der Verringerung des Verletzungsrisikos während der Messung. An die Medikamenteneinnahme wurde telefonisch erinnert und sie wurde direkt vor der Messung kontrolliert. Trotz allen Bemühungen, das Fehlerpotential so niedrig wie möglich zu halten, müssen für die Interpretation der Ergebnisse folgende Punkte beachtet werden:



- Die hohe und ungeübte Belastung auf dem Isokineten kann zu starkem Druckempfinden oder Schmerzen im Kniegelenk oder der Kniemuskulatur führen, was Fehlleistungen nicht ausschließen lassen. In der vorliegenden Studie führte dies zu 6 *Dropouts* (siehe Tabelle 5.11). Folgebeschwerden sind jedoch nicht bekannt.
- Trotz straffer Fixierung der Hüfte und des Oberschenkels kann sich bei intensiver Belastung die Drehachse des Kniegelenkes verschieben und damit die Hebellänge verändern. Durch verbale Korrektur wurde dies vom Testleiter so weit wie möglich verhindert.
- Bei allen Maximalkrafttests ist die individuelle Motivation des Probanden maßgebend für die Qualität der Daten. Um motivationale Messfehler zu verhindern, übte der Testleiter bei allen Probanden und Messzeitpunkten konstant ein verbal motivierendes Verhalten aus. Insgesamt war eine hohe Motivation aller Probanden während der Messungen zu beobachten.

Bei der isokinetischen Kraftmessung ist kritisch zu beachten, dass es sich bei den vom Isokineten vorgegebenen Bewegungen nicht um funktionelle Gehbewegungen handelt. Zwar ist die Kniestreckung und -beugung Hauptbestandteil des Gehens, jedoch fehlen unter anderem der Einbezug des gesamten Körpergewichts und der geschlossenen Muskelkette der Gehbewegung. Außerdem entspricht die isokinetische Bewegung nicht der natürlichen Beinbewegung beim Gehen, da in der natürlichen Bewegung keine gleichbleibende Bewegungsgeschwindigkeit vorliegt. Mit Blick auf die zu untersuchenden Fragestellungen ist die isokinetische Kraftmessung insgesamt jedoch eine den Anforderungen entsprechende Messmethode.

### 6.1.7 Leistungsdiagnostik

In wieweit die spiroergometrische Leistungsdiagnose auf dem Laufband bei Patienten mit Morbus Parkinson reliabel ist, untersuchte das Forscherteam von Katzel *et al.* [91] bei 70 Parkinsonpatienten. Die Patienten von Katzel *et al.* wurden wie in der vorliegenden Studie mit einem Gehprotokoll auf dem Laufband über das „breath-by-breath“ Verfahren getestet. Allerdings waren die Patienten über einen Aufhängegurt zusätzlich gesichert und sie durften (falls notwendig) ihre Hände zur Unterstützung nutzen. Das Messsystem zeigte sich als hoch reliabel mit ICC-Werten für die absolute ( $VO_{2peak}$ ) und relative ( $VO_{2peak}/kg$ ) maximal erreichte Sauerstoffaufnahme von 0,94 und 0,90. In einer anderen Studie mit *Gesunden* konnte ebenfalls auf dem Laufband und mit dem „breath-by-breath“ Verfahren hohe Reliabilitätsergebnisse für die  $VO_{2max}$  von ICC 0,92 beobachtet werden. [100] Ähnliche Ergebnisse fanden die Forschergruppen von Selig *et al.* [101] bei Herzpatienten (ICC 0,91 für  $VO_{2peak}$ ) und von Meyer *et al.* [102] bei *Gesunden* (ICC 0,97 für  $VO_2$ ) auf einem Fahrradergometertest.

Insgesamt konnte die spiroergometrische Untersuchung auf dem Laufband von allen Probanden problemlos durchgeführt werden, mit Ausnahme eines Parkinsonpatienten. Dieser war koordinativ überfordert und musste sich größtenteils mit einer Hand stützen. Gemessen am UPDRS Score (Range 17 - 40) war er motorisch der am stärksten betroffene Patient (UPDRS Score 40). Dies könnte ein

Hinweis darauf sein, dass Patienten mit hohen motorischen UPDRS Werten (z.B. ab 40) mit einem Laufbandtest überfordert sind und eher auf einem Fahrradergometer getestet werden sollten.

Die Blutentnahme am Ohrläppchen des Probanden war ohne Einschränkung während der Belastung auf dem Laufband durchführbar. Die Bestimmung der anaeroben Schwelle nach *Dickhut* wird zwar häufig verwendet, sie ist jedoch keine validierte Methode, weshalb die Laktatergebnisse vorsichtig interpretiert werden müssen.

Da es sich bei der spiroergometrischen Leistungsdiagnose um eine metabolische Messmethode handelt, haben Veränderungen im Lebensstil der Probanden, wie beispielsweise Ernährung, Urlaub, Kuraufenthalte usw. einen großen Einfluss auf die Messergebnisse. Auch Medikamente und bestimmte Begleitkrankheiten (z.B. Herzrhythmusstörungen) müssen für die Auswertungen kontrolliert werden. Ein Internist überprüfte die Daten dieser Studie vor der Endauswertung auf Plausibilität. Wenn möglich sollte auf diese Störgrößen bereits in der Rekrutierung geachtet werden, bzw. die Probanden vor Studienteilnahme darauf hingewiesen werden. Die in Tabelle 5.19 aufgelisteten Ausschlussgründe waren bei Studieneinschluß nicht bekannt.

Auch in dieser Messmethode wurde auf eine hohe Standardisierung geachtet (gleicher Testleiter, gleiche Testzeit, L-Dopa Medikament 1 Stunde vor Testung, gleiche verbale Motivation, Kalibrierung der Messgeräte, *ect.*). Trotzdem sollte bei der Interpretation der Messdaten folgende Fehlerquellen beachtet werden:

- Durch die große Körperbewegung beim angestregten Gehen ist ein Verrutschen der Atemmaske möglich, was zu Messfehlern in den Atemgasauswertungen kommen kann.
- Ein Abstützen des Körpers mit den Händen führt zu einer Überschätzung der Leistungsfähigkeit und sollte entsprechend verhindert werden.

## 6.2 Fragestellungen

### 6.2.1 Primärfrage 1

**Wirkt sich ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Trainingsprogramm auf die motorische Symptomatik (gemessen über die UPDRS) von Parkinsonpatienten aus?**

#### Hypothese 1

*Das Nordic Walking Training bewirkt bei Parkinsonpatienten eine Verbesserung des UPDRS Scores.*

Im UPDRS Motor Score (Teil III des Gesamtfragebogens) verbesserten sich die Patienten statistisch tendenziell, in der Literatur sind sich die Autoren jedoch uneinig. Während zwei Forschergruppen bei Parkinsonpatienten nach *Nordic Walking* Training signifikante Verbesserungen des UPDRS Motor

---

Scores beobachten konnten, [79] [80] erzielten Patienten in zwei weiteren NW Studien keine Änderung des Scores. [62] [81] Die Gründe für die konträren Ergebnisse könnten in der unterschiedlichen Interventionsmethodik (Dauer, Frequenz, Intensität) und Stichprobengröße liegen.

Bei Parkinsonpatienten in den Hoehn & Yahr Stadien I-III wird eine Verbesserung des UPDRS Scores um 5 Punkte (Teil III) als klinisch relevant beurteilt. [103] Genauere Ranges bezüglich klinischer Relevanz kalkulierten Shulman *et al.*, [104] allerdings nur für Patienten mit dem H&Y Stadium I. Nach dieser Forschergruppe wird eine Reduzierung der UPDRS Punktezahl von 2,3 bis 2,7 Punkte als minimal klinisch relevante Verbesserung beurteilt, eine Punktreduktion von 4,5 bis 6,7 wird als moderate Verbesserung eingestuft und von 10,7 bis 10,8 Punkte werden als große klinisch relevante Verbesserung bezeichnet. Auf dieser Grundlage liegen die Patienten der vorliegenden Studie im Mittelwert ungefähr bei einer minimal klinisch relevanten Verbesserung. Allerdings erzielten bei einer individuellen Betrachtung der Ergebnisse 7 von 18 Patienten eine deutliche Verbesserung der Symptomatik, was darauf hinweist, dass zum Einen das Training einen hinreichenden Trainingsreiz bot und dass zum Anderen möglicherweise die Patientengruppe in sich inhomogen ist und möglicherweise für Folgestudien zumindest symptomatisch einheitlicher gewählt werden sollte.

Wie die in Tabelle 6.1 aufgeführte Fallzahl für den UPDRS Score zeigt, ist die Variabilität der Parkinsonstichprobe zu hoch, um mit der vorliegenden Probandenzahl einen statistisch signifikanten Effekt erkennen zu können. Entsprechend ist für eine Folgestudie mit einer ähnlichen Parkinsonstichprobe eine Fallzahl von mindestens 56 Parkinsonpatienten sinnvoll.

Zusammengefasst muss Hypothese 1 abgelehnt werden, da das 5-% Signifikanzniveau nicht erreicht wurde, jedoch ist eine Tendenz zur Verbesserung der Symptomatik erkennbar.

## 6.2.2 Primärfrage 2

**Wirkt sich ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Trainingsprogramm auf das Gehen, auf das Aufstehen, auf die Oberschenkelkraft und auf die ventilatorische, sowie metabolische Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten aus?**

### 6.2.2.1 3D Kinematik

#### Hypothese 2

*Die Parkinsonpatienten verbessern sich durch das Nordic Walking Training in ihrer Gangleistung.*

Das NW Trainingsprogramm bewirkte in der Patientengruppe im Durchschnitt keine Veränderung der Gangleistung. In den meisten Trainingsstudien konnten, entgegen der vorliegenden Studie, Verbesserungen in der Gangleistung bei Parkinsonpatienten gefunden werden. [56] [57] [58] [59] [60] [61] [72] Jedoch trainierten in diesen Studien die Patienten ausschließlich und in den unterschiedlichsten Variationen auf dem Laufband. Auch in den Studien, die ebenfalls *Nordic Walking* als Trainingsmethode

---

untersuchten und deshalb am besten mit der vorliegenden Studie vergleichbar sind, verbesserten sich die Parkinsonpatienten in ihrer Gangleistung statistisch signifikant. [62] [78] [79] Die Ursachen für die gegenläufige Ergebnisse der vorliegenden Studie könnten in der Methodenwahl liegen, da sich die Trainingsmethodik, die Messmethodik und die Stichproben deutlich voneinander unterscheiden.

Da in der Kontrollgruppe Trainingsanpassungen zu beobachten sind, kann davon ausgegangen werden, dass das Training einen hinreichenden Trainingsimpuls beinhaltet, um Anpassungserscheinungen zu erzielen. Bei einer gezielten grafischen Betrachtung der Trainingseffekte in den einzelnen Gruppen ist deutlich zu erkennen, dass in der Patientengruppe je nach Messgröße 1/3 bis 2/3 der Patienten eine ähnliche Trainingsanpassung erzielten wie die Gesunden, während die restlichen Patienten ihre Leistung verringerten oder darin unverändert blieben. Bei dieser eindeutigen Heterogenität würde sich eine Analyse zur Unterscheidung von *Respondern* und *Nonrespondern* anbieten. Beispielsweise wäre eine sensiblere Einteilung nach dem Krankheitsstadium (Hoehn & Yahr und/oder UPDRS Score) möglich. Speziell auf der Basis der symptomatischen Veränderung durch das Training in der vorliegenden Studie bietet es sich an, die Parkinsongruppe nach positiver und negativer Trainingsanpassung im UPDRS Score einzuteilen. Jedoch würden sich hierbei sehr kleine Stichproben von unter zehn Probanden ergeben, die für wissenschaftlich fundierte Analysen nicht ausreichend sind. Entsprechend sind weitere Studien mit größeren Stichproben zur Prüfung dieser Annahme nötig.

Eine mögliche Erklärung für die *Nonresponder* in der Patientengruppe könnte im progressiven Verlauf der Krankheit liegen. Gegebenenfalls erleidete der eine oder andere Patient während der 3-monatigen Trainingsphase einen Krankheitsschub, der die Leistungsfähigkeit grundsätzlich verringerte. Da der Trainingsphase keine Kontrollphase vor- und nachgeschaltet war, liegen keine langfristigen neurologischen Kontrolldaten vor, deshalb bleibt dieser Punkt offen. In zukünftigen Studien sollte dieser Punkt in Betracht gezogen werden.

Zusammenfassend muss Hypothese 2 abgelehnt werden. Die Gangleistung der Parkinsonpatienten blieb im Mittel unverändert. Dieses Ergebnis stimmt nicht mit der aktuellen Literatur überein.

### Hypothese 3

*Die Parkinsonpatienten verbessern sich durch das Nordic Walking Training in ihrer Aufstehleistung.*

Das 12-wöchige NW-Training bewirkte in der Patientengruppe keine Veränderung der Aufstehleistung. Es liegen leider keine Studien vor, mit denen die vorliegende Messmethodik vergleichbar wäre. Die meisten Forschergruppen nutzten den TUG Test (*Timed up and go*), um Veränderungen in der Aufstehleistung zu beurteilen. In diesem Test wird die Gesamtaufstehzeit im Zusammenhang mit den ersten Schritten zeitlich erhoben. Vor diesem Hintergrund ist nur eine Messgröße mit der Literaturlage annähernd vergleichbar, die Gesamtaufstehzeit. Das vorliegende Ergebnis der Gesamtaufstehzeit steht entgegen der aktuellen Literatur, in der bei Parkinsonpatienten nach unterschiedlichen Trainingsmethoden Verbesserungen im TUG beobachtet werden konnten. [64] [73] [78] Dabei unterscheiden sich die Studien mit der vorliegenden nicht nur in der Messmethodik [64] [73] [78], sondern auch in der Trainingsmethode [64] [73], worin die Diskrepanz der Ergebnisse begründet liegen könnte.

---

Grundsätzlich basiert Hypothese 3 auf folgenden Grundgedanken: Es ist anzunehmen, dass sich bei Parkinsonpatienten nach trainingswissenschaftlichen Grundsätzen die Kraft, die Ausdauer und die Dehnbarkeit der Hüft- und Beinmuskulatur langfristig aufgrund eines verlangsamten und kurzschrittigen Gangbild (siehe Kapitel 3.3) im Alltag verringern. Durch das *Nordic Walking* Training sind die Patienten gezwungen, mit Hilfe der Stöcke große Schritte über einen längeren Zeitraum auszuüben. Entsprechend liegt die Vermutung nahe, dass sich die Kraft und die Beweglichkeit in den unteren Extremitäten aufgrund des NW Trainings verbessern sollte. Da diese beiden Elemente die Aufstehleistung positiv beeinflussen, [36] [42] [43] [44] [45] könnte eine Verbesserung der Aufstehleistung erwartet werden. Die Ergebnisse des Forscherteams von Eijkeren *et al.* [78] untermauern diese Vermutung, da deren Parkinsonstichprobe bereits nach einem 6-wöchigen NW Trainingsprogramm eine Verkürzung der Gesamtaufstehzeit beobachten konnten.

Die Ergebnisse der Kraftauswertung der vorliegenden Studie bestätigen ebenfalls obige Vermutung: Die Patienten zeigten nach dem Trainingsprogramm einen deutlichen Kraftzuwachs in der Oberschenkelkraft. Weshalb die Parkinsonpatienten dennoch keine statistisch messbare Verbesserung der Aufstehleistung erzielten, ist unklar. Möglicherweise spielt die maximale Kraftfähigkeit der Oberschenkelmuskulatur in der Gesamtaufstehzeit nur eine Teilrolle, denn nach der Forschergruppe Bishop *et al.* [36] besitzen Parkinsonpatienten Rekrutierungsdefizite im *Tibialis Anterior*, wodurch ihre Kraftentwicklung verringert ist, was wiederum zu einer verlängerten Gesamtaufstehzeit führt.

In Bezug auf körperlich eingeschränkte Personen [39] und auch speziell für Parkinsonpatienten [105] werden in der Literatur verschiedene Strategien für das *Aufstehen* diskutiert. Beispielsweise kompensieren Parkinsonpatienten nach der Forschergruppe von Nikfer *et al.* [105] ihre Schwierigkeiten beim *Aufstehen* durch folgende Strategie: Sie generieren eine größere Oberkörpervorneigung mit erhöhter Oberkörpergeschwindigkeit, um einen erhöhten Vorwärtsimpuls zu erhalten. Dadurch reduziert sich die Zeit der instabilen Phase II im Vergleich zu Gesunden. Diese Kompensationsstrategie passt jedoch nicht auf die Parkinsonstichprobe der vorliegenden Studie, da zum Einen die Rumpfgeschwindigkeiten im Vergleich zu den Gesunden verlangsamt sind (siehe Tabelle 5.8 und 5.9), zum Anderen kein Unterschied im Hüftwinkel zu den Gesunden beobachtet wurde, wie Tabelle 5.10 aufzeigt. Eine Erklärung für den Widerspruch könnte in der Größe der Stichprobe liegen, da Nikfer *et al.* nur sechs Parkinsonpatienten und sieben Gesunde untersuchten. Andererseits ist das Krankheitsbild Morbus Parkinson an sich sehr komplex und sehr variabel in der Symptomatik, so dass möglicherweise verschiedene Patiententypen unterschiedliche Strategien ausführen.

Nach dem Analysemodell von Schenkman *et al.* [39] wäre bei einer Personengruppe mit Defiziten im Gleichgewicht und in der Kraft zu erwarten, dass diese im Vergleich zu Gesunden eine längere Phase II, erhöhte Rumpfgeschwindigkeiten und eine stärkere Oberkörpervorneigung aufweisen. Die vorliegende Parkinsonstichprobe entspricht in keinem dieser Messgrößen den Erwartungen, obwohl Parkinsonpatienten der genannten Personengruppe zugehörig sind. Daher stellt sich die Frage nach den Gründen für diesen Widerspruch. Eine mögliche Erklärung könnte im Analysemodell von Schenkman *et al.* [39] liegen, das auf der Basis einer Messmethode aufgestellt wurde, die nach heutigem technischen Stand veraltet ist und keine natürlichen Bewegungsabläufe zulassen. Eine weitere

Möglichkeit könnte in einer falschen Interpretation der Autoren in Bezug auf defizitäre Personen liegen, da keine erkrankte Stichprobe untersucht wurde. Jedoch wurde in einer Studie von Galli *et al.* [40] bei halbseitig gelähmten Personen eine verlängerte Phase II beobachtet werden. Deshalb besteht auch die Möglichkeit, dass Parkinsonpatienten andere Kompensationsmechanismen nutzen, als beispielsweise halbseitig gelähmte Personen, und dadurch die Annahmen von Schenkman *et al.* [39] nicht auf die Parkinsonpatienten zutreffen.

Nach den Ergebnissen der Forschergruppen Mak & Hui-Chan [37] und Mak *et al.* [38], zeigen Parkinsonpatienten beim *Aufstehen* die gleichen Bewegungsmuster wie die Gesunden, jedoch in einer verlangsamten Form. Auf dieser Grundlage sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie gut zu erklären (längere Gesamtzeit, langsamere Geschwindigkeiten der Rumpfbewegung, gleicher Hüftwinkel). Möglicherweise nutzen Parkinsonpatienten keine besondere Strategie, um die Bewegungsaufgabe *Aufstehen* zu bewältigen. Diese Vermutung ist durch Folgestudien mit größeren Stichproben und einer möglicherweise feineren Einteilung der Krankheitsstadiums zu bestätigen.

Zusammengefasst muss Hypothese 3 abgelehnt werden, da die Parkinsonpatienten ihre Aufstehleistung nicht verbesserten. Dieses Ergebnis widerspricht der aktuellen Literaturlage.

### 6.2.2.2 Isokinetische Kraftmessung

#### Hypothese 4

*Das Nordic Walking Training bewirkt bei Parkinsonpatienten eine Erhöhung der Oberschenkelkraft.*

Das Trainingsprogramm bewirkte in der Patientengruppe einen deutlichen Kraftzuwachs in der isometrischen, konzentrischen, wie auch exzentrischen Oberschenkelmuskulatur, ausgenommen der exzentrischen Knieflexion. Auch in anderen Trainingsstudien zeigten Parkinsonpatienten Anpassungserscheinungen im Kraftbereich nach Training. [73] [74] [75] [76] In den meisten Fällen führten die Patienten dabei jedoch ein Krafttraining oder eine Kombination aus Krafttraining und einer weiteren Trainingsmethode durch. Aber auch kraftunspezifisches Training [76] führte bei Parkinsonpatienten zu einem Kraftzuwachs, ähnlich wie in der vorliegenden Studie. Entsprechend stimmen die vorliegenden Ergebnisse mit der aktuellen Literatur überein.

Der Generierung der Hypothese 4 lag folgende Annahme zugrunde: Die Oberschenkelkraft der Parkinsonpatienten ist im Vergleich zu Gesunden reduziert. [41] [42] [43] [44] [45] Durch ein leistungsorientiertes NW Training wird der Beinmuskulatur im Vergleich zum Alltag eine Mehrleistung abverlangt, durch die eine Erhöhung der Kraftfähigkeit erzielt werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen diese Annahme. Trotz hoher Variabilität der Kraftleistungen ist der Kraftzuwachs bei den Parkinsonpatienten statistisch signifikant.

Die vorliegende Studie ist die erste, in der alle drei isokinetischen Arbeitsweisen bei Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollpersonen untersucht wurden. Dadurch ist eine umfassendere Analyse möglicher Kraftdefizite in der Oberschenkelmuskulatur bei Parkinsonpatienten durchführbar, in der

die einzelnen Arbeitsweisen qualitativ mit einbezogen werden. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, ist durch ein dynamisches, kraftunspezifisches Training wie das *Nordic Walking* ein deutlicher Kraftzuwachs in der statischen (isometrischen) und den dynamischen (konzentrischen, exzentrischen) Arbeitsweisen möglich, ausgenommen die exzentrische Knieflexion. Dieses Ergebnis untermauert zum Einen die der Hypothese 4 zugrundeliegende Annahme, dass die regelmäßige muskuläre Mehrbelastung durch das *Nordic Walking* Kraftzuwächse bewirkt. Zum Anderen ist es auch ein Hinweis darauf, dass sich ein *Nordic Walking* Training auch auf andere täglichen Bewegungsaufgaben positiv auswirken kann, in denen statisches und dynamisches Kraftvermögen zumindest der Oberschenkelkraft benötigt werden.

In den meisten Studien, in denen Parkinsonpatienten und Gesunde Kraftmessungen durchführten, wurden jeweils entweder beide Beinseiten einzeln ausgewertet [41] [47] oder es wurde pro Gruppe eine Beinseite zum Vergleich ausgewählt. [42] In der vorliegenden Studie basieren die Auswertungen auf den gemittelten Werten der Maximalkraft beider Beinseiten. Möglicherweise ist diese Methode nicht die optimale Lösung, um Gruppenvergleiche im Maximalkraftbereich zu ermitteln, da dadurch Unterschiede zwischen den Beinseiten nicht erkannt werden können. Andererseits besteht bei der Auswahl einer Beinseite für den Gruppenvergleich immer das Risiko, beispielsweise die schwächere Beinseite der einen Gruppe mit der stärkeren Beinseite der anderen Gruppe zu vergleichen, was die Ergebnisse verzerren würde. Mit den gemittelten Kraftwerten beider Beine besteht dieses Risiko nicht. Zudem ist anhand der Auswertung in der Patientengruppe zwischen der *mehr* und der *weniger betroffenen* Beinseite zu erkennen, dass die Ergebnisse der gemittelten Werte beider Beinseiten nahezu vollständig auf die Ergebnisse der einzelnen Beinseiten übertragbar sind.

Ähnlich wie in den Ergebnissen aus der Bewegungsanalyse zeigen sich in den Kraftwerten der Parkinsonpatienten große Unterschiede in der Leistung und der Trainingsanpassung. Entsprechend würde sich auch in diesen Messgrößen eine Subgruppenunterteilung anbieten. Die Forschergruppen von Kakinuma *et al.* [48] und Nogaki *et al.* [49] führten beispielsweise eine Gruppenunterteilung nach dem Hoehn & Yahr Stadium durch, was zu interessanten, stadienbedingten Aussagen führte. Wie oben bereits erwähnt, macht eine statistische Analyse der vorliegenden Stichprobe mit Subgruppen aufgrund der zu geringen Probandenzahl keinen Sinn. Dies sollte aber für Folgestudien in Betracht gezogen werden.

Zusammengefasst bestätigen die vorliegenden Ergebnisse Hypothese 4: Parkinsonpatienten profitieren in ihrer Oberschenkelkraft von einem 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainingsprogramm. Dieses Ergebnis stimmt mit der aktuellen Literaturlage überein.

### Hypothese 5

*Das mehr betroffene Bein zeigt eine höhere Trainingsanpassung in der Oberschenkelkraft als das weniger betroffene Bein.*

Das Trainingsprogramm resultierte in beiden Beinseiten der Patienten in einem Kraftzuwachs. Leider liegt aktuell keine Vergleichsliteratur vor. Aus diesem Ergebnis ist zu schließen, dass die Beinkraft bei Parkinsonpatienten unabhängig von der Betroffenheit beidseitig gleich trainierbar ist.

---

Der Hypothese 5 liegt folgende Annahme zugrunde: Das *mehr betroffene* Bein ist schwächer als das *weniger betroffene* Bein, [48] [49] möglicherweise aufgrund der stärkeren Krankheitssymptomatik und der dadurch eventuell resultierenden Bewegungsarmut. Durch die gleichmäßige und leistungsorientierte Gehbelastung im NW Training, die durch den Stockeinsatz zusätzlich unterstützt wird, wird das *mehr betroffene* Bein gezwungen, Mehrarbeit bis auf das Niveau des *weniger betroffenen* Beines zu leisten. Dadurch könnte das *mehr betroffene* Bein stärker von dem Trainingsimpuls profitiert als das andere Bein. Diese Annahme konnte nicht bestätigt werden. Da vor Trainingsbeginn (siehe Tabelle 5.17) im Beinseitenvergleich kein Kraftunterschied bestand, erscheint es plausibel, dass beide Beine im gleichen Maße von dem Training profitierten.

Eine Begründung dafür, dass entgegen der ursprünglichen Annahme kein Kraftunterschied zwischen der *mehr* und der *weniger betroffenen* Seite besteht, könnte zumindest in der konzentrischen Arbeitsweise an der Höhe der Messgeschwindigkeit liegen. Denn nach den Ergebnissen der Forschergruppe von Kakinuma *et al.* [48] sind in moderat betroffenen Patienten (Hoehn & Yahr 2-3) bei einer konzentrischen Geschwindigkeit von 30°/s keine Kraftunterschiede zu erkennen, während die Unterschiede in 90°/s in beide Arbeitsrichtungen statistisch signifikant sind. Ähnliche Ergebnisse fanden Nogaki *et al.* [49] in deren moderat betroffenen Parkinsonstichprobe. Entsprechend besteht die Möglichkeit, dass die konzentrische Messgeschwindigkeit von 60°/s der vorliegenden Studie zu gering ist, um Beinseitenunterschiede in der ebenfalls moderat betroffenen Parkinsonstichprobe zu erkennen. Die Tatsache, dass die Forschergruppe Inkster *et al.* [42] bei ihren Patienten (Hoehn & Yahr 1-3) ebenfalls keinen Kraftunterschied in 45°/s beobachten konnten, untermauert die Möglichkeit, dass Parkinsonpatienten im moderaten Stadium erst ab einer konzentrischen Messgeschwindigkeit von 90°/s Kraftdefizite zwischen dem *mehr* und dem *weniger betroffenen* Beinseiten aufzeigen. Wird zusätzlich noch in Betracht gezogen, dass, nach Pääsuke *et al.* [43], zumindest für die Knieextensoren die Parkinsonpatienten weniger in der Kraftentwicklung, als in der Regulation der Kraft-Zeit-Parameter Defizite aufweisen, könnte es möglich sein, dass die Patienten bei einer Messgeschwindigkeit bis 60°/s genug Zeit haben, ihr Kraftmaximum zu entwickeln. Demgegenüber könnte es für die Patienten spätestens ab einer Messgeschwindigkeit von 90°/s zu schnell sein, um ihre potenzielle Kraftfähigkeit zu generieren.

Zusammengefasst muss die Hypothese 5 abgelehnt werden. In beiden Beinseiten zeigen die Parkinsonpatienten gleiche Anpassungserscheinungen in der Kraftfähigkeit. Es liegen keine vergleichbaren Studien vor.

### 6.2.2.3 Leistungsdiagnostik

#### Hypothese 6

*Die ventilatorische und metabolische Leistungsfähigkeit der Parkinsonpatienten verbessert sich durch das Nordic Walking Training.*

Das *Nordic Walking* Trainingsprogramm bewirkte bei den Parkinsonpatienten eine statistisch signifikante Verbesserung der relativen maximal erreichten Sauerstoffaufnahme und eine tendenzielle Verbesserung der absoluten maximal erreichten Sauerstoffaufnahme. Submaximal konnten keine Trai-



ningsanpassungen beobachtet werden. Auch andere Forscherteams erzielten bei Parkinsonpatienten Verbesserungen in der Sauerstoffaufnahme [18] [64] [106]. Allerdings nutzten diese Forscherteams das Fahrradergometer oder das Laufband als Trainingsmethode. Leider liegt methodisch keine Vergleichsliteratur vor. Soweit möglich stimmen die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit der Literatur überein.

Die Normwerte für die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität liegen bei gesunden Untrainierten im mittleren Alter bei *ca.* 2 - 3,5 l/min. [107] Die Patienten liegen mit ihren maximal erreichten Sauerstoffaufnahmeergebnissen innerhalb des Normbereichs, allerdings im unteren Leistungsbereich. Da die Messgröße  $\dot{V}O_{2peak}$  durch die unterschiedlichen anthropometrischen Daten (Größe, Gewicht) nur bedingt für einen Gruppenvergleich geeignet sind, liegt der Fokus auf der relativen Sauerstoffaufnahmekapazität. Die Normwerte dafür sind 30 bis 50 ml/min/kg bei untrainierten gesunden Probanden im mittleren Alter. [107] Die Patientengruppe erreicht annähernd die 30 ml/min/kg, womit sie sich im unteren Leistungsbereich befinden. Herzpatienten liegen etwa bei 15-20 ml/min/kg  $\dot{V}O_2$ , daher gilt dieser Bereich als pathologisch. [107] Da die Patientengruppe jedoch den pathologischen Bereich deutlich überragt, ist davon auszugehen, dass die Parkinsonpatienten altersgerechte Leistungen erbringen.

Der Normwert für das Atemäquivalent an der vAT bei Gesunden liegt bei  $25 \pm 3$ , Werte über 30 können als auffällig und pathologisch bewertet werden. [108] In Bezug auf die Norm befinden sich die Patienten der vorliegenden Studie vor Training im Mittel im oberen, jedoch nicht im pathologischen Bereich. Das NW Training zeigte keinen Einfluss auf das Atemäquivalent. Daraus ist zu schließen, dass die Effektivität der Atmung bei den Parkinsonpatienten im Vergleich zu den Gesunden verringert ist. Eine mögliche Ursache dafür könnte in einer leistungseingeschränkten Lungenfunktion liegen, die Haas *et al.* [52] in deren Parkinsonstichprobe beobachten konnten. Möglicherweise würde ein Atemmuskeltraining Verbesserungen erzielen.

Entgegen der Annahme, ausdauerorientiertes *Nordic Walking* Training hätte einen Einfluss auf die Gehökonomie, konnten in der Parkinsongruppe keine Veränderungen in den niedrigen Belastungsstufen beobachtet werden. Dieses Ergebnis steht entgegen der aktuellen Literatur, in der die Gehökonomie bei Patienten verbessert werden konnte. [65] [66] Allerdings liegen im Vergleich zur vorliegenden Studie erhebliche Unterschiede in der Trainings- und Messmethode, sowie in der Stichprobe vor. Möglicherweise würde die Auswertung höherer Belastungsstufen andere Ergebnisse zeigen. Da sich die Auswahl der analysierten Leistungsstufen an den leistungsschwächsten Parkinsonpatienten orientierte, wäre eine Auswertung von höheren Stufen nur mit einer größeren und homogeneren Stichprobe sinnvoll. Auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse kann gefolgert werden, dass ein 12-wöchiges NW Trainingsprogramm bei Parkinsonpatienten keinen Einfluss auf die Gehökonomie hat.

Mit Hilfe der Laktatanalyse konnte festgestellt werden, dass sich die Parkinsonpatienten durch das 12-wöchige Training in der relativen Leistung an der LT und der IAS deutlich verbesserten. Außerdem bewirkte das Training bei den Patienten eine tendenzielle Verbesserung der Herzfrequenz an der LT und der IAS. Unverändert blieb die Laktatkonzentration an der IAS nach Trainingsende. Leider liegen für die Laktatanalyse methodisch keine Vergleichsstudien vor. Die vorliegenden Ergebnisse deuten

darauf hin, dass ein 12-wöchiges *Nordic Walking* Training die Leistungsfähigkeit von Parkinsonpatienten erhöht, jedoch metabolisch keine Anpassung zu erkennen ist.

Zusammengefasst haben sich die Patienten in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert, wie anhand der Leistungserhöhung in der relativen und maximal erreichten Sauerstoffaufnahme, sowie in der Leistung an der LT und der IAS zu erkennen ist. Höchstwahrscheinlich ist diese Leistungssteigerung direkt mit der erhöhten Oberschenkelkraft erklärbar, da eine erhöhte Beinkraft eine Belastungsverlängerung auf dem Laufband und damit eine Leistungssteigerung impliziert. Im Gegensatz dazu gibt es keinen Hinweis auf Anpassungserscheinungen in den metabolischen Leistungsparametern durch das *Nordic Walking* Training, was sich durch eine positive Entwicklung der Atemäquivalent, der Gehökonomie und einer Verringerung der Laktatkonzentration hätte zeigen müssen, ausgenommen die tendenzielle Verringerung der Herzfrequenz an der LT. Entsprechend muss gefolgert werden, dass sich Parkinsonpatienten durch ein 12-wöchiges NW Training in der physischen Leistung verbessern können, dass sie jedoch keine Veränderung im metabolischen Ausdauerbereich erreichen. Hypothese 6 kann deshalb für den ventilatorischen Leistungsbereich bestätigt werden, während die Hypothese bezüglich des metabolischen Bereichs abgelehnt werden muss.

### 6.2.3 Sekundärfrage

**Unterscheiden sich Parkinsonpatienten im Trainingseffekt eines 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainings von gleichaltrigen gesunden Kontrollpersonen?**

#### **Hypothese 7**

*Die Parkinsonpatienten zeigen ähnliche Trainingsanpassungen wie gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen.*

In den Ergebnissen der 3D Kinematik Analyse ist deskriptiv anhand der gemittelten Leistungswerte der beiden Gruppen vor Trainingsbeginn zu erkennen, dass die Parkinsonpatienten langsamer, kurz- und breitschrittiger *gehen* als die Gesunden. Durch das Training erzielten die gesunden Kontrollen eine deutliche Verbesserung in der Gehgeschwindigkeit und in der Schrittlänge, was den Erwartungen trainingswissenschaftlicher Erkenntnisse entspricht. Eine Veränderung der Schrittbreite war dagegen nicht zu erwarten, da diese bei den Gesunden als normal eingeschätzt werden kann. Im Gegensatz zu den Kontrollen erreichten die Patienten keine Trainingsanpassung in den genannten Messgrößen. Wie deskriptiv zu erkennen ist, variieren die Patienten in ihren Ergebnissen des Gangbildes sehr hoch und teilweise sehr heterogen, so dass sich Veränderungen in der statistischen Mittelwertsberechnung aufheben und dadurch mögliche Unterschiede nicht erkannt werden.

Wie anhand der Leistungsergebnisse vor Training zu erkennen ist, benötigen die Patienten für die Bewegungsaufgabe *Aufstehen* im Vergleich zu den Gesunden insgesamt mehr Zeit und bewegen sich, was die Rumpfgeschwindigkeit angeht, langsamer. Das Training bewirkte in der Kontrollgruppe eine tendenzielle Verringerung der Gesamtaufstehzeit, ansonsten zeigten sich in beiden Gruppen keine

Veränderung der Aufstehleistung. Die Variabilität der Ergebnisse ist in der Bewegungsaufgabe *Aufstehen* im Gegensatz zum *Gehen* in beiden Gruppen ähnlich.

In der Summe lassen sich keine statistisch relevanten Gruppenunterschiede in der Trainingsanpassung der kinematischen Messgrößen erkennen. Dennoch ist aufgrund der deskriptiven Betrachtung ein Unterschied in der Trainingsanpassung im *Gehen* zu vermuten. Wie bereits an vorheriger Stelle erwähnt, könnte eine Responderanalyse diesbezüglich eindeutiger Ergebnisse aufzeigen. Dagegen scheint das *Nordic Walking* Training in beiden Gruppen keinen Einfluss auf die Aufstehbewegung zu bewirken. In Bezug auf die kinematischen Leistungsdefizite der Parkinsonpatienten in den beiden Bewegungsaufgaben *Gehen* und *Aufstehen* bewirkte das *Nordic Walking* Training keine Besserung. Jedoch erreichen vereinzelte Patienten in beiden Bewegungsaufgaben das Leistungsniveau der Kontrollen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Parkinsonpatienten die gleiche Leistung wie Gesunde erreichen können, sie aber dazu gesondert trainieren müssen. Da es sich um vereinzelte Patienten handelt, ist diese Aussage nicht verallgemeinbar und muss über Folgestudien näher analysiert werden.

In der isokinetischen Oberschenkelkraft konnte bereits vor dem Training keine Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Anhand der berechneten Mittelwerte erreichen die Patienten teilweise sogar leicht höhere isokinetische Maximalwerte in der Oberschenkelkraft als die gesunden Kontrollen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte in dem ungleichen Geschlechterverhältnis der beiden Gruppen zu finden sein, da die Patientengruppe aus mehr Männern besteht als die Kontrollgruppe und die Männer genetisch höhere Kraftwerte erzielen als Frauen. Da sich beide Gruppen durch das Training deutlich oder zumindest tendenziell in allen Arbeitsweisen verbesserten oder unverändert blieben (exzentrische Knieflexion), sind keine Unterschiede in den statistisch geprüften Trainingseffekten zu erkennen. Jedoch erreichen die Patienten häufiger das statistische Signifikanzniveau in den einzelnen Messgrößen als die Gesunden, was bedeutet, dass sie tendenziell mehr von dem Training profitieren als die Gesunden. Allerdings ist dieser Sachverhalt ebenfalls gut durch den Geschlechter-Bias zu erklären, da die männlichen Teilnehmer genetisch entsprechend höhere Kraftzuwächse erreichen können als weibliche. Ungeachtet dessen lassen vorliegende Ergebnisse trotz Geschlechter-Bias deutlich erkennen, dass Parkinsonpatienten durch das *Nordic Walking* Training ähnliche Trainingseffekte in der isokinetischen Oberschenkelkraft erzielen zu können, wie gleichaltrige Gesunde.

In den Messgrößen der Leistungsdiagnostik (Spiroergometrie und Laktatanalyse) zeigten die Patienten vor Trainingsbeginn im Vergleich zu den Gesunden einen niedrigeren Belastungspuls, jedoch höhere Werte im Atemäquivalent und der Laktatkonzentration im Blut an den Laktatschwellen. Das NW Training bewirkte in beiden Gruppen ähnliche Anpassungserscheinungen, mit drei Ausnahmen, die statistisch jedoch nicht ersichtlich sind: In der *relativen Leistung an der LT* und der *IAS* verbesserten sich die Parkinsonpatienten nach Training im Mittel auf das Leistungsniveau der Kontrollen, während diese keine Anpassungserscheinungen erzielten. Indessen verbesserte sich nach Training die Laktatkonzentration an der *IAS* bei den Kontrollen, wogegen die Patienten keine Veränderung erreichten. Somit konnten die Patienten trotz Training keine Verbesserungen in den beiden defizitären Messgrößen (Atemäquivalent, Laktatkonzentration) erreichen. Aus den angeführten Beobachtungen kann gefolgert werden, dass die Parkinsonpatienten in der Lage sind, ventilatorisch ähnliche Leistung erbringen zu können wie Gesunde, jedoch erreichen sie dies durch eine erhöhte Atemfrequenz und einer

verstärkten anaeroben Energieutilisation. Das *Nordic Walking* Training übte darauf keinen Einfluss aus.

Aktuell liegen leider keine vergleichbaren Studien vor. Durch die Literaturrecherche konnte nur eine Studie gefunden werden, in der parallel zur Parkinsongruppe eine gesunde Kontrollgruppe trainiert wurde. [74] Dabei führten die beiden Gruppen ein 8-wöchiges Krafttraining durch. Als Ergebnis zeigten die Parkinsonpatienten im Gegensatz zu den Gesunden deutliche Verbesserungen in der Gehgeschwindigkeit und der Schrittlänge, während beide Gruppen eine Erhöhung der Kraftfähigkeit erzielten. Auch in der vorliegenden Studie erzielten beide Gruppen trotz kraftunspezifischer Trainingsmethode Kraftzuwächse, allerdings profitierten die Gesunden im *Gehen* mehr von dem NW Training als die Patienten. Durch die unterschiedlichen Methoden ist ein Vergleich der beiden Studien nicht möglich, auch wenn die Parkinsonpatienten durch beide Trainingsmethoden Kraftzuwächse erzielten.

Bei einer Betrachtung aller analysierten Messgrößen der Leistungsbereiche *Gehen*, *Aufstehen*, *Oberschenkelkraft* und *metabolische Leistungsfähigkeit* sind statistisch keine Unterschiede in der Trainingsanpassung zwischen den Gruppen zu beobachten. Lediglich in der *Schrittlänge* ist statistisch ein tendenzieller Unterschied im Trainingseffekt zu erkennen, da die Kontrollen im Mittel eine deutliche Leistungsverbesserung erzielten, während die Patienten sich durchschnittlich leicht verschlechterten. Zwar zeigt die statistische Testung des weiteren einen tendenziellen Unterschied im Ergebnis der *isometrischen Kniebeugekraft* auf, jedoch ist in der deskriptiven Darstellung zu erkennen, dass beide Gruppen von dem Training profitierten. Lediglich die hohe Ergebnisvariabilität in der Patientengruppe begründet den errechneten Unterschied.

Zusammenfassend kann Hypothese 7 bestätigt werden, da die Patienten eine ähnliche Trainingsanpassung durch das *Nordic Walking* Training wie gleichaltrige gesunde Kontrollpersonen zeigen. Allerdings muss der Geschlechter-Bias berücksichtigt werden. Die obigen Schlussfolgerungen können daher nur als Anhangspunkte dienen und müssen durch Folgestudien mit geschlechterhomogeneren Gruppen bestätigt werden.

---

## 7 Zusammenfassung und Fazit

Morbus Parkinson ist eine neurodegenerative Erkrankung des fortgeschrittenen Lebensalters mit den Kardinalsymptomen Muskelsteifigkeit, Bewegungsarmut, Mangel an Willkür- und Reaktivbewegungen, sowie Zittern. Der Untergang von dopaminergen Neuronen im zentralen Nervensystem bewirkt einen Mangel des Neurotransmitters Dopamin, der zu Fehlfunktionen der Basalganglien führt und die genannten Symptome verursacht. Die zentralen motorischen Beeinträchtigungen sind schlurfende, kleinschrittige und verlangsamte Gangbewegungen mit vermindertem Mitschwingen der Arme, und mit Stand- und Gangunsicherheit aufgrund der Reduktion posturaler Reflexe. Diese Krankheit wird in erster Linie mit dopaminerger Medikation behandelt, was sehr kostenaufwändig ist.

Bisher spielt die Sporttherapie bei der Behandlung von Parkinsonpatienten eine untergeordnete Rolle, obwohl sich die Sporttherapie bei anderen chronischen Krankheiten bereits als effektiv gezeigt hat. Hirnforscher haben nachgewiesen, dass durch körperliche Aktivität und motorische, sowie sensorische Reize das Gehirn trainierbar und leistungsfähiger wird. Dazu gibt es bereits viel versprechende Ansätze aus dem Tiermodell. In der Literatur sind ein paar wenige sporttherapeutische Trainingsstudien zu finden, die in der Summe zeigen, dass Parkinsonpatienten durch Sport die körperliche Leistungsfähigkeit verbessern können. Unklar bleibt, welches Patientenkollektiv von welcher Trainingsmethode am meisten profitiert. Aufgrund mangelnder *gesunder* Kontrollgruppen bleibt außerdem die Frage offen, ob der Parkinsonpatient in gleicher Weise oder anders auf körperliches Training reagiert als gesunde Personen.

Das primäre Ziel der vorliegenden Studie war, die Auswirkungen eines 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainings auf die Bereiche Parkinsonsymptomatik, Gehen, Aufstehen, Oberschenkelkraft und ventilatorische, sowie metabolische Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Das sekundäre Ziel war, durch einen Vergleich der Trainingseffekte zwischen den Patienten und gleichaltrigen Gesunden zu erkennen, ob Parkinsonpatienten ähnliche Trainingsanpassungen aufweisen wie Gesunde.

Dazu wurden 18 Parkinsonpatienten und 18 gesunde Kontrollpersonen mit Hilfe einer dreidimensionalen Kinematikanalyse in den Alltagsbewegungen *Gehen* und *Aufstehen* untersucht. Außerdem wurden eine isokinetische Kraftmessung an der Oberschenkelmuskulatur und eine spiroergometrische Leistungsdiagnose mit Laktatanalyse auf dem Laufband durchgeführt. Untersucht wurden die Patienten in der Bewegungsanalyse im medikamentösen OFF- und in der Kraft- und Leistungsmessung im ON-Status. Im Anschluss an die Untersuchungen nahmen alle Probanden an einem 12-wöchigen *Nordic Walking* Trainingsprogramm teil und wurden nach Beendigung des Trainings nochmals in den drei Leistungsbereichen untersucht. Der Trainingsumfang betrug 3 Mal pro Woche 60 Minuten Training.

Die Parkinsonpatienten erzielten durch das 12-wöchige *Nordic Walking* Training statistisch eine tendenzielle Verbesserung des UPDRS Scores um durchschnittlich 2 Punkte. Dabei konnte eine sehr hohe Streuung der Daten beobachtet werden, die darauf hinweist, dass die Stichprobe trotz relativ einheitlichem Hoehn & Yahr Stadium (Range 2 - 2,5) in der Schwere der Krankheitssymptomatik sehr variabel ist.

Die durchschnittliche Leistung der Parkinsonpatienten in den Bewegungsaufgaben *Gehen* und *Aufstehen* blieb unverändert. Besonders in den Ergebnissen der Gangleistung konnte eine starke Heterogenität in der Trainingsanpassung der Patienten festgestellt werden, welche auf eine Analyse zwischen Respondern und Nonrespondern hinweist. Die dadurch entstehenden Stichprobengrößen würden jedoch für eine wissenschaftlich fundierte Analyse nicht ausreichend sein, deshalb wurde auf eine zusätzliche Responderanalyse verzichtet. Für das *Aufstehen* werden in der Literatur verschiedene Strategien vorgestellt, die Parkinsonpatienten oder anderweitig körperlich eingeschränkte Personen nutzen, um die Bewegungsaufgabe Aufstehen trotz Leistungsdefizite zu bewältigen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen nicht mit diesen Strategien überein. Nach den vorliegenden Ergebnissen zeigen die Parkinsonpatienten eher ein ähnliches Bewegungsmuster des Aufstehens wie Gesunde, jedoch in einer deutlich verlangsamten Ausführung.

Das *Nordic Walking* Training bewirkte bei den Parkinsonpatienten einen deutlichen Kraftzuwachs in allen isokinetischen Arbeitsweisen der Oberschenkelmuskulatur. Die vorliegende Studie ist die Erste, in der alle drei Arbeitsweisen (Isometrie, Konzentrik, Exzentrik) bei Parkinsonpatienten untersucht wurden. Dadurch konnte belegt werden, dass mittelfristiges, kraftunspezifisches *Nordic Walking* Training eine Erhöhung der statischen und dynamischen Oberschenkelkraft ermöglicht. Es wurde kein Unterschied in der Trainingsanpassung zwischen der *mehr* und der *weniger betroffenen* Beinseite beobachtet.

Die leistungsdiagnostischen Untersuchungen konnten aufzeigen, dass sich die Parkinsonpatienten durch das Training in der Sauerstoffaufnahmekapazität, sowie in der Leistung an den Laktatschwellen LT und IAS verbesserten. Dagegen konnten keine Anpassungserscheinungen in den metabolischen Messgrößen beobachtet werden (beispielsweise Gehökonomie, Laktatkonzentration). Im Vergleich zur Norm erbrachten die Parkinsonpatienten altersentsprechende Leistungen, jedoch jeweils im unteren Leistungsbereich.

Auf der Basis der statistischen Analyse aller kinematischen, isokinetischen und leistungsdiagnostischen Messgrößen unterscheiden sich die Parkinsonpatienten in der Trainingsanpassung nicht von den gesunden Kontrollen. Allerdings ist deskriptiv ein Effektunterschied im Gehen zu erkennen: Während die Kontrollen ihre Gehgeschwindigkeit und Schrittlänge durch das Training deutlich verbesserten, erreichten die Patienten keine Leistungsverbesserung. In der Aufstehbewegung konnten dagegen beide Gruppen keine Leistungsverbesserung erreichen. In der Oberschenkelkraft profitierten die gesunden Kontrollen wie die Patienten von dem *Nordic Walking* Training. Tendenziell scheint dabei der Gewinn der Patienten etwas höher zu sein, als der der Gesunden. Mit Hilfe der leistungsdiagnostischen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Patienten in der Lage sind, die Leistung der Gesunden

zu erreichen, jedoch scheinen sie dies durch eine erhöhte Atemfrequenz und einer verstärkten anaeroben Energieutilisation zu erreichen. Auch das *Nordic Walking* Training übte darauf keinen Einfluss aus.

## Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass sich die Symptomatik von Morbus Parkinson durch ein sporttherapeutisches Training wie *Nordic Walking* verbessern lässt. Außerdem konnte beobachtet werden, dass die Leistungsfähigkeit der Parkinsonpatienten ähnlich wie bei gleichaltrigen gesunden Kontrollpersonen trainierbar ist. Zwar konnten die Leistungsdefizite der Patienten durch ein 12-wöchiges NW Training nicht vollständig relativiert werden, jedoch bedeutet ein Leistungszuwachs bei einer sich progressiv entwickelnden Krankheit eine gute Möglichkeit, der bevorstehenden Unselbstständigkeit durch körperliche Leistungsver schlechterung tatkräftig zu trotzen. Neben der medikamentösen Therapie stellt sich also die Sporttherapie als durchaus erfolgsversprechende Zusatztherapie vor. Entsprechend sollte sie umfassender in der Parkinsontherapie mit einbezogen werden. Dazu hat sich das *Nordic Walking* Training als sichere und einfach durchzuführende Trainingsmethode bewährt.

## 8 Ausblick

Durch die große Variabilität in den Ergebnissen der Parkinsonpatienten sind klare Trainingseffekte nur schwer erkennbar. Beispielsweise sind in einigen der vorliegenden Ergebnissen die Standardabweichungen höher als die gemessenen Unterschiede, wodurch die 5% Grenze des Signifikanzniveaus schwer erreichbar ist. Deshalb sollte zur Bestätigung und zur weiteren Erforschung möglicher Leistungsunterschiede eine Studie mit einer größeren und homogeneren Stichprobe durchgeführt werden. Mit Hilfe der vorliegenden Ergebnisse können hierfür weitere Fallzahlberechnungen durchgeführt werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Variabilität der Parkinsonstichprobe zu reduzieren und eindeutiger Aussagen treffen zu können, liegt in der Unterteilung der Stichprobe in Subgruppen wie beispielsweise nach dem Leistungsstand, [36] oder nach dem Hoehn & Yahr Stadium. [109] In der vorliegenden Arbeit hätte sich eine Responderanalyse auf der Basis der UPDRS Ergebnisse angeboten. Allerdings würde eine solche zu Gruppengrößen von maximal neun Patienten führen. Da eine Parkinsongruppe von neun Patienten, die, wie in dieser Studie gezeigt, sehr variabel in den Leistungsmessgrößen sind, wissenschaftlich keine klaren Aussagen zulässt, wurde auf diese Unterteilung im Ergebnisteil verzichtet. Jedoch ist sie für eine zukünftige Studie mit einer deutlich größeren Stichprobe äußerst sinnvoll.

Ein anderes Verfahren, um die Stichproben größtmöglich vergleichbar zu machen, und die Variabilität einzuschränken, ist durch das *Matchen* der Vergleichsgruppen nach Geschlecht, Größe, Alter und Gewicht zu erzielen. Dies kommt insbesondere bei Leistungstests zur Geltung, in denen diese anthropometrische Daten Einfluss auf das Ergebnis haben, wie der spiroergometrischen Leistungsdiagnostik und der isokinetischen Kraftmessung. Da mit dem vorliegenden Probandenpool maximal neun Matchingpaare gebildet werden können, wurde auf diese Auswertemöglichkeit aus den oben genannten Gründen verzichtet.

Um ein wissenschaftliches Ergebnis eindeutig beurteilen zu können, muss für die Interpretation der Ergebnisse die klinische Relevanz berücksichtigt werden. Diese ist nicht immer klar zu deuten, insbesondere, wenn die Leistungsunterschiede in einer Stichprobe extrem variabel ist, wie die der vorliegenden Parkinsonstichprobe. Entsprechend kann die Frage nach der klinischen Relevanz in den einzelnen Messgrößen mit der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden, sondern bedarf einer Folgestudie mit entsprechender Stichprobengröße.



# Literaturverzeichnis

- [1] Thümler R. *Morbus Parkinson - Ein Leitfaden für die Klinik und Praxis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.
- [2] Gerlach M; Reichmann H; Riederer P. *Die Parkinson-Krankheit - Grundlagen, Klinik, Therapie*. Springer, Wien New, York, 2007.
- [3] Scharf M; Weineck J. *Parkinson und Sport - Prävention und Rehabilitation auf der Grundlage der Sportmedizin und Sportwissenschaft*. Spitta, Balingen, 2004.
- [4] Fuchs GA. *Die Parkinsonsche Krankheit - Ursachen und Behandlungsformen*. C. H. Beck oHG, München, 2002.
- [5] Jost W. *Therapie des idiopathischen Parkinson-Syndroms*. UNI-MED, Bremen, 2008.
- [6] Eisele R; Sworowski B. *Hirn und Alter. Parkinson und Demenzen*. Ärzte Zeitung Verlagsgesellschaft, Neu-Isenburg, 1995.
- [7] Vieregge P. Pestizidexposition und Parkinson-Syndrom. *Der Nervenarzt*, 73(10):982–989, 2002.
- [8] Graeber MB Riess O; Krüger R; Schöls L; Kösel S. Zur Genetik und Pathogenese des Morbus Parkinson. *Deutsches Ärzteblatt*, 43(96):2209–2215, 1999.
- [9] Glass J. *Früh- und Differentialdiagnose des Morbus Parkinson. Dopergin Fortbildung (Teil I)*. Springer, Berlin-Heidelberg, 1997.
- [10] Schäffler A; Schmidt S. *Mensch, Körper, Krankheit - Anatomie, Physiologie, Krankheitsbilder - Lehrbuch und Atlas für die Berufe im Gesundheitswesen*. Jungjohann Verlag, Neckarsulm, 1994.
- [11] Spitzer M. Lernen im Schlaf: Off-line-Reprocessing von Gelerntem. *Nervenheilkunde*, 1(20):59–61, 2001.
- [12] Weineck J. *Sportbiologie*. Spitta, Balingen, 2000.
- [13] Hollmann W; Strüder KH. Das menschliche Gehirn als Agitator und Rezeptor von muskulärer Arbeit. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 49(Sonderheft 1):154–160, 1998.
- [14] Kubesch S. Sportunterricht: Training für Körper und Geist. *Nervenheilkunde*, 9(21):487–490, 2002.

- 
- [15] Fabre C; Chamari K; Mucci P; Massé-Biron J; Préfaut C. Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 6(23):415–421, 2002.
- [16] Hollmann W. Entwicklung einer Bewegungs-Neurowissenschaft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 12(52):337, 2001.
- [17] Sasco AF; Paffenbarger RS; Gendre I; Wing AL. The role of physical exercise in the occurrence of Parkinson's disease. *Archives of Neurology*, 4(49):360–365, 1992.
- [18] Bergen JL; Toole T; Elliott RG; Wallace B; Robinson K; Maitland CG. Aerobic exercise intervention improves aerobic capacity and movement initiation in Parkinson's disease patients. *NeuroRehabilitation*, 17:161–168, 2002.
- [19] Guillin O; Diaz J; Carroll P; Griffon N; Schwartz JC; Sokoloff P. Bdnf controls dopamine d3 receptor expression and triggers behavioural sensitization. *Nature*, 411(3):86–89, 2001.
- [20] Kandel ER; Schwartz JH; Jessel TM. *Neurowissenschaften*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford, 1996.
- [21] Oliff HS; Berchtold NC; Isackson P; Cotman CW. Exercise-induced regulation of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) transcripts in the rat hippocampus. *Brain Research Molecular Brain Research*, 1-2(61):147–153, 1998.
- [22] Tillerson JL; Caudle WM; Reveron ME; Miller GW. Exercise induces behavioural recovery and attenuates neurochemical deficits in rodent models of Parkinson's disease. *Neuroscience*, 3(119):899–911, 2003.
- [23] Smith AD; Zigmond MJ. Can the brain be protected through exercise? Lessons from an animal model of parkinsonism. *Exp Neurol*, 184:31–39, 2003.
- [24] Lau YS; Patki G; Das-Panja K; Le WD; Ahmad SO. Neuroprotective effects and mechanisms of exercise in a chronic mouse model of Parkinson's disease with moderate neurodegeneration. *European Journal of Neuroscience*, 33:1264–1274, 2011.
- [25] Pothakos K; Kurz MJ; Lau YS. Restorative effect of endurance exercise on behavioural deficits in the chronic mouse model of Parkinson's disease with severe neurodegeneration. *BMC Neuroscience*, 10(6):1–14, 2009.
- [26] Döbrössy MD; Dunnett SB. Motor training effects on recovery of function after striatal lesions and striatal grafts. *Experimental Neurology*, 184:274–284, 2003.
- [27] Al-Jarrah M; Pothakos K; Novikova L; Smirnova I; Kurz M; Stehno-Bittel L; Lau YS. Endurance exercise promotes cardiorespiratorische rehabilitation without neurorestoration in the chronic mouse model of parkinsonism with severe neurodegeneration. *Neuroscience*, 149(1):28–37, 2007.
-

- 
- [28] Canning CG; Ada L; Johnson JJ; McWhirter S. Walking capacity in mild to moderate Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 87:371–375, 2006.
- [29] Hackney ME; Earhart GM. Backward walking in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 24(2):218–223, 2009.
- [30] Frenkel-Toledo S; Giladi N; Peretz C; Herman T; Gruendlinger L; Hausdorff JM. Effect of gait speed on gait rhythmicity in Parkinson's disease: variability of stride time and swing time respond differently. *J NeuroEng Rehabil*, pages doi:10.1186/1743-0003-2-23, 2005.
- [31] Winogrodzka A; Wagenaar RC; Booij J; Wolters EC. Rigidity and bradykinesia reduce interlimb coordination in Parkinsonian gait. *Arch Phys Med Rehabil*, 86:183–189, 2005.
- [32] Mak MKY; Pang MYC. Balance self-efficacy determines walking capacity in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23(13):1936–1939, 2008.
- [33] Falvo MJ; Earhart GM. Reference equation for 6-minute walk in individuals with Parkinson disease. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 46(9):1121–1126, 2009.
- [34] Falvo MJ; Earhart GM. Six-minute walk distance in persons with Parkinson disease: A hierarchical regression model. *Arch Phys Med Rehabil*, 90:1004–1008, 2009.
- [35] Shaw JA; Huffman JI; Frank JS; Jog MS; Adkin AL. The effects of skill focused instructions on walking performance depend on movement constraints in Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 33:119–123, 2011.
- [36] Bishop M; Brunt D; Pathare N; Ko M; Marjama-Lyons J. Changes in distal muscle timing may contribute to slowness during sit to stand in Parkinson's disease. *Clinical Biomechanics*, 20:112–117, 2005.
- [37] Mak MK; Hui-Chan CW. Switching of movement direction is central to parkinsonian bradykinesia in sit-to-stand. *Mov Disord*, 17(6):1188–1195, 2002.
- [38] Mak MK; Levin O; Mizrahi J; Hui-Chan CW. Joint torques during sit-to-stand in healthy subjects and people with Parkinson's disease. *Clin Biomech*, 18(3):197–206, 2003.
- [39] Schenkman M; Berger RA; O Riley P; Mann RW; Hodge WA. Whole-Body movements during rising to standing from sitting. *Physical Therapy*, 70(10):638–648, 1990.
- [40] Galli M; Cimolin V; Crivellini M; Campanini I. Quantitative analysis of sit to stand movement: Experimental set-up definition and application to healthy and hemiplegic adults. *Gait & Posture*, 28(1):80–85, 2008.
- [41] Allen NE; Canning CG; Sherrington C; Fung VSC. Bradykinesia, muscle weakness and reduced muscle power in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 24(9):1344–1351, 2009.
- [42] Inkster LM; Eng JJ; MacIntyre DL; Stoessl AJ. Leg muscle strength is reduced in Parkinson's disease and related to the ability to rise from a chair. *Movement Disorders*, 18(2):157–162, 2003.
-

- 
- [43] Pääsuke M; Möttus K; Ereline J; Gapeyeva H; Taba P. Lower limb performance in older female patients with Parkinson's disease. *Aging Clin Exp Res*, 14(3):185–191, 2002.
- [44] Pääsuke M; Ereline J; Gapeyeva H; Joost K; Möttus K; Taba P. Leg-Extension strength and chair-rise performance in elderly women with Parkinson's disease. *Journal of Aging and Physical Activity*, 12:511–524, 2004.
- [45] Schilling BK; Karlage RE; LeDoux MS; Pfeiffer RF. Impaired leg extensor strength in individuals with Parkinson's disease and relatedness to functional mobility. *Parkinsonism and Related Disorders*, 15:776–780, 2009.
- [46] Nallegowda M; Singh U; Handa G; Khanna M; Wadhwa S; Yadav SL; Kumar G; Behari M. Role of sensory input and muscle strength in maintenance of balance, gait, and posture in Parkinson's disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 83(12):898–908, 2004.
- [47] Allen NE; Sherrington C; Canning CG; Fung VSC. Reduced muscle power is associated with slower walking velocity and falls in people with Parkinson's disease. *Parkinsonism and Related Disorders*, 16:261–264, 2010.
- [48] Kakinuma S; Nogaki H; Pramanik B; Morimatsu M. Muscle weakness in Parkinson's disease: Isokinetic study of the lower limbs. *Eur Neurol*, 39:218–222, 1998.
- [49] Nogaki H; Kakinuma S; Morimatsu M. Movement velocity dependent muscle strength in Parkinson's disease. *Acta Neurol Scand*, 99:152–157, 1999.
- [50] Christiansen CL; Schenkman ML; McFann K; Wolfe P; Kohrt WM. Walking economy in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 24(10):1481–1487, 2009.
- [51] Werner WG; DiFrancisco-Donoghue J; Lamberg EM. Cardiovascular response to treadmill testing in Parkinson's disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(2):68–73, 2006.
- [52] Haas BM; Trew M; Castle PC. Effects of respiratory muscle weakness on daily living function, quality of life, activity levels, and exercise capacity in mild to moderate Parkinson's disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 83(8):601–607, 2004.
- [53] Protas EJ; Stanley RK; Jankovic J; MaxNeill B. Cardiovascular and metabolic response to upper- and lower-extremity exercise in men with Idiopathic Parkinson's disease. *Physical Therapy*, 76(1):34–40, 1996.
- [54] Stanley RK; Protas EJ; Jankovic J. Exercise performance in those having Parkinson's disease and healthy normals. *Med Sci Sports Exerc*, 31(6):761–766, 1999.
- [55] Canning CG; Alison JA; Allen NE; Groeller H. Parkinson's disease: An investigation of exercise capacity, respiratory function, and gait. *Arch Phys Med Rehabil*, 78:199–207, 1997.
- [56] Miyai I; Fujimoto Y; Mamamoto H; Ueda Y; Saito T; Nozaki S; Kang J. Long-term effect of body weight-supported treadmill training in Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 83:1370–1373, 2002.
-

- 
- [57] Yang YR; Lee YY; Cheng SJ; Wang RY. Downhill walking training in individuals with Parkinson's disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 89(9):706–714, 2010.
- [58] Cakit BD; Saracoglu M; Genc H; Erdem HR. The effects of incremental speed-dependent treadmill training on postural instability and fear of falling in Parkinson's disease. *Clin Rehabil.*, 21:698–705, 2007.
- [59] Protas EF; Mitchell K; Williams A; Qureshy H; Caroline K; Lai EC. Gait and step training to reduce falls in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation*, 20:183–190, 2005.
- [60] Fisher BE; Wu AD; Salem GJ; Song J; Lin CH; Yip J; Cen S; Gordon J; Jakowec M; Petzinger G. The effect of exercise training in improving motor performance and corticomotor excitability in people with early Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 89:1221–1229, 2008.
- [61] Miyai I; Fujimoto Y; Ueda Y; Yamamoto H; Nozaki S; Saito T; Kang J. Treadmill training with body weight support: Its effect on Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 81:849–1373, 2000.
- [62] Reuter I; Leone P; Schwed M; Oechsner M. Effect of nordic walking in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 21(15):S567, 2006.
- [63] Filippin NT; Lobo da Costa PH; Mattiolo R. Effects of treadmill-walking training with additional body load on quality of life in subjects with Parkinson's disease. *Rev Bras Fisioter.*, 14(4):344–350, 2010.
- [64] Kurtais Y; Kutlay S; Tur BS; Gok H; Akbostanci C. Does treadmill training improve lower-extremity tasks in Parkinson's disease? A randomized controlled trial. *Clin J Sport Med*, 18(3):289–291, 2008.
- [65] Pelosin E; Faelli E; Lofrano F; Avanzino L; Marinelli L; Bove M; Ruggeri P; Abbruzzese G. Effects of treadmill training on walking economy in Parkinson's disease: a pilot study. *Neurol Sci*, 30:499–504, 2009.
- [66] Schenkman M; Hall D; Kumar R; Kohrt WM. Endurance exercise training to improve economy of movement of people with Parkinson's disease: Three case report. *Phys Ther.*, 88(1):63–76, 2008.
- [67] Herman T; Giladi N; Gruendlinger L; Hausdorff JM. Six week of intensive treadmill training improves gait and quality of life in Patients with Parkinson's disease: A pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*, 88:1154–1282, 2007.
- [68] Bello O; Sanchez JA; Fernandez del Olmo M. Treadmill walking in Parkinson's disease patients: Adaptation and generalization effect. *Movement Disorders*, 23(9):1243–1249, 2008.
- [69] Pohl M; Rockstroh G; Rückriem S; Mrass G; Mehrholz J. Immediate effects of speed-dependent treadmill training on gait parameters in early Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:1760–1766, 2003.
-


- 
- [70] Bello O; Marquez G; Camblor M; Fernandez del Olmo M. Mechanisms involved in treadmill walking improvements in Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 32:118–123, 2010.
- [71] Mehrholz J; Friis R; Kugler J; Twork S; Storch A; Pohl M. Treadmill training for patients with Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*, 1:CD007830, 2010.
- [72] Herman T; Giladi N; Hausdorff JM. Treadmill training for the treatment of gait disturbance in people with Parkinson's disease: a mini-review. *J Neural Transm*, 116:307–318, 2009.
- [73] Dibble LE; Hale TF; Marcus RL; Gerber JP; LaStayo PC. High intensity eccentric resistance training decreases bradykinesia and improves quality of life in persons with Parkinson's disease: A preliminary study. *Parkinsonism Relat Disord.*, 15:752–757, 2009.
- [74] Scandalis TA; Bosak A; Berliner JC; Helman LL; Wells MR. Resistance training and gait function in patients with Parkinson's disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 80(1):38–43, 2001.
- [75] Toole T; Hirsch MA; Forkink A; Lehman DA; Maitland CG. The effects of a balance and strength training program on equilibrium in Parkinsonism: A preliminary study. *NeuroRehabilitation*, 14:165–174, 2000.
- [76] Hirsch MA; Toole T; Maitland CG; Rider RA. The effects of balance training and high-intensity resistance training on persons with idiopathic Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:1109–1117, 2003.
- [77] Cruise KE; Bucks RS; Loftus AM; Newton RU; Pegoraro R; Thomas MG. Exercise and Parkinson's: benefits for cognition and quality of life. *Acta Neurol Scand*, 123:13–19, 2011.
- [78] Eijkeren FJM; Reijmers RSJ; Kleinveld MJ; Minten A; Bruggen JP; Bloem BR. Nordic Walking improves mobility in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23(15):2239–2243, 2008.
- [79] Reuter I; Mehnert S; Leone P; Kaps M; Oechsner M; Engelhardt M. Effects of a flexibility and relaxation programme, walking, and nordic walking on Parkinson's disease. *J Aging Res.*, page doi:10.4061/2011/232473, 2011.
- [80] Baatile J; Langbein WE; Weaver F; Maloney C; Jost MB. Effect of exercise on perceived quality of live of individuals with Parkinson's disease. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37(5):529–534, 2000.
- [81] Ebersbach G; Ebersbach A; Edler D; Kaufhold O; Kusch M; Kupsch A; Wissel J. Comparing Exercise in Parkinson's disease - The Berlin LSVTBIG study. *Movement Disorders*, 25(12):1902–1908, 2010.
- [82] Burini D; Farabollini F; Iacucci S; Rimatori C; Riccardi G; Capecci M; Provinciali L; Ceravolo MG. A randomized controlled cross-over trial of aerobic training versus Qigong in advanced Parkinson's disease. *Eura medicophys*, 42:231–238, 2006.
- [83] Ridgel AL; Vitek JL; Alberts JL. Forced, not voluntary, exercise improves motor function in Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair*, 23(6):600–608, 2009.
-

- 
- [84] Fahn S; Elton RL. *UPDRS Development Committee. Unified Parkinson's Disease Rating Scale. In: Fahn S, Marsden CD, Calne DB, Goldstein M, eds. Recent Developments in Parkinson's Disease.* Macmillan Health Care Information, Florham Park, NJ, 1987.
- [85] Siderowf A; McDermott M; Kieburtz K; Blindauer K; Plumb S; Shoulson I; Parkinson Study Group. Test-retest reliability of the unified Parkinson's disease rating scale in patients with early Parkinson's disease: results from a multicenter clinical trial. *Mov Disord*, 17(4):758–763, 2002.
- [86] Delval A; Salleron J; Bourriez JL; Bleuse S; Moreau C; Krystkowiak P; Defebvre L; Devos P; Duhamel A. Kinematic angular parameters in PD: reliability of joint angle curves and comparison with healthy subjects. *Gait & Posture*, 28(3):495–501, 2008.
- [87] Kramer JF. Reliability of knee extensor and flexor torques during continuous concentric-eccentric cycles. *Arch Phys Med Rehabil*, 71:460–464, 1990.
- [88] Clark DJ; Condliffe EG; Patten C. Reliability of concentric and eccentric torque during isokinetic knee extension in post-stroke hemiparesis. *Clinical Biomechanics*, 21:395–404, 2006.
- [89] Jeschke D. *Sportmedizinische Trainingssteuerung. In: Sport-Prävention-Therapie.* R. Lorenz (Hrsg). Sport und Buch Strauß, 2003.
- [90] Mayer F; Grau S; Baur H; Hirschmüller A; Horstmann T; Gollhofer A; Dickhuth H-H. Verletzungen und Beschwerden im Laufsport. *Dt Ärztebl*, 98:A 1254–1259, 2001.
- [91] Katzel LI; Sorkin JD; Macko RF; Smith B; Ivey FM; Shulman LM. Repeatability of aerobic capacity measurements in Parkinson's disease. *Med Sci Sports Exerc.*, 43(12):2381–2387, 2011.
- [92] Willimczik K. *Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft. Band 1: Statistik im Sport.* Hamburg, Czwalina, 1993.
- [93] Metman LV; Myre B; Verwey N; Hassin-Baer S; Arzbaeher J; Sierens D; Bakay R. Test-retest reliability of UPDRS-III, dyskinesia scales, and timed motor tests in patients with advanced Parkinson's disease: an argument against multiple baseline assessments. *Mov Disord*, 19(9):1079–1084, 2004.
- [94] Caty GD; Detrembleur C; Bleyenheuft C; Lejeune TM. Reliability of lower limb kinematics, mechanics and energetics during gait in patients after stroke. *J Rehabil Med*, 41:588–590, 2009.
- [95] Yavuzer G; Öken Ö; Elhan A; Stam HJ. Repeatability of lower limb three-dimensional kinematics in patients with stroke. *Gait & Posture*, 27(1):31–35, 2008.
- [96] Laroche D; Duval A; Morisset C; Beis JN; d'Athis P; Maillefert JF; Ornetti P. Test-retest reliability of 3D kinematic gait variables in hip osteoarthritis patients. *Osteoarthritis Cartilage*, 19(2):194–199, 2011.
-

- 
- [97] Hsu AL; Tang PF; Jan MH. Test-retest reliability of isokinetic muscle strength of the lower extremities in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 83(8):1130–1137, 2002.
- [98] Noorizadeh DS; Talebian S; Olyaei G; Montazeri A. Reliability of isokinetic normalized peak torque assessments for knee muscles in post-stroke hemiparesis. *Gait & Posture*, 27(4):715–718, 2008.
- [99] Paull SS; Canning CG; Sherrington C; Fung VS. Reproducibility of measures of leg muscle power, leg muscle strength, postural sway and mobility in people with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 36(3):639–642, 2012.
- [100] de Mendonca GV; Pereira FD. Between-day variability of net and gross oxygen uptake during graded treadmill walking: effects of different walking intensities on the reliability of locomotion economy. *Appl Physiol Nutr. Metab*, 33:1199–1206, 2008.
- [101] Selig SE; Carey MF; Menzies DG; Patterson J; Geerling RH; Williams AD; Bamroomgsuk V; Toia D; Krum H; Hare DL. Reliability of isokinetic strength and aerobic power testing for patients with chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil*, 22(4):282–289, 2002.
- [102] Meyer T; Georg T; Becker C; Kindermann W. Reliability of gas exchange measurements from two different spiroergometry systems. *Int J Sport Med*, 22:593–597, 2001.
- [103] UPDRS Skala. [http://www.parkinson-web.de/content/was\\_ist\\_parkinson/beurteilungs\\_\\_skalen/updrs\\_skala/index\\_ger.html](http://www.parkinson-web.de/content/was_ist_parkinson/beurteilungs__skalen/updrs_skala/index_ger.html), 2013. [Online; Zugriff 29.08.2013].
- [104] Anderson KE Fishman PS Reich SG Weiner WJ Shulman LM, Gruber-Baldini AL. The Clinically Important Difference on the Unified Parkinson's Disease Rating Scale. *Arch Neurol*, 67(1):64–70, 2010.
- [105] Nikfer E; Kerr K; Attfield S; Playford DE. Trunk movement in Parkinson's disease during rising from seated position. *Mov Disord*, 17(2):274–282, 2002.
- [106] Shulman LM; Katzel LI; Ivey FM; Sorkin JD; Favors K; Anderson KE; Smith BA; Reich SG; Weiner WJ; Macko RF. Randomized clinical trial of 3 types of physical exercise for patients with Parkinson disease. *JAMA Neurol*, 70(2):183–90, doi: 10.1001/jamaneurol.2013.646., 2013.
- [107] Meyer T; Kindermann W. Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max). *Dtsch Z Sportmed*, 50:285–286, 1999.
- [108] Kroidl RF; Schwarz S; Lehnigk B. *Kursbuch Spiroergometrie - Technik und Befundung verständlich gemacht*. Thieme, Stuttgart, 2009.
- [109] Fritz B; Rombach S; Godau J; Berg D; Horstmann T; Grau S. The influence of Nordic Walking training on sit-to-stand transfer in Parkinson patients. *Gait Posture*, 34(2):234–238, 2011.
-



## A Anhang CRF

		
<b>Sporttherapie bei Morbus Parkinson</b>		
<u>Geburtsdatum:</u>	_ _ . _ _ . _ _ _ _	
<u>Probanden-Nr.:</u>	_ _ _ _	
<u>Initialen:</u>	_ _ _	
Parkinsonpatient	<b>PD</b>	<input type="checkbox"/>
Kontrolle	<b>KO</b>	<input type="checkbox"/>
<u>Terminvereinbarung:</u>	<u>geplant:</u>	<u>stattgefunden:</u>
<b>A</b> Anfangsuntersuchung	_ _ . _ _ . _ _	_ _ . _ _ . _ _
<b>E</b> Enduntersuchung	_ _ . _ _ . _ _	_ _ . _ _ . _ _
In Datenbank übertragen am:	_ _ . _ _ . _ _	von: _____

1

**S Screening Untersuchung**Prüfärztin: Jana Godau ☐Vertretung: \_\_\_\_\_ ☐

Datum: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_

**Ein- und Ausschlusskriterien**Einschlusskriterien erfüllt? JA ☐ NEIN ☐**Einschlusskriterien für Patienten:**

- Idiopathisches Parkinson-Syndrom vom akinetisch rigiden Typ oder vom Äquivalenztyp
- UPDRS Motor-Score im OFF von mindestens 20 Punkten
- Besserung des UPDRS Motorscores im ON um mindestens 20%, max. 35 Punkte
- Stadium nach Hoehn und Yahr max. 3
- Konstante Medikation für mindestens 4 Wochen vor Studienbeginn
- Gesundheitliche Eignung für die Trainingsmaßnahme, festgestellt im Rahmen der Screening-Untersuchung vor Studienbeginn
- Zeitliche Verfügbarkeit über den gesamten Studienzeitraum
- Bisheriger Trainingsstatus konstant für mindestens 3 Monate vor Studienbeginn
- Einwilligungsfähigkeit und Einverständnis

**Einschlusskriterien für Kontrollpersonen**

- Ausschluss der Diagnose Morbus Parkinson für Einschluss in die gesunde Kontrollgruppe
- Konstante Medikation für mindestens 4 Wochen vor Studienbeginn
- Gesundheitliche Eignung für die Trainingsmaßnahme, festgestellt im Rahmen der Screening-Untersuchung vor Studienbeginn
- Zeitliche Verfügbarkeit über den gesamten Studienzeitraum
- Bisheriger Trainingsstatus konstant für mindestens 3 Monate vor Studienbeginn
- Einwilligungsfähigkeit und Einverständnis

Ausschlusskriterien erfüllt?

JA ☐ NEIN ☐

**Ausschlusskriterien für Patienten:**

- Morbus Parkinson vom tremordominanten Typ
- Freezing
- Ausgeprägte ON-Dyskinesen, anamnestisch oder im Rahmen der Screening-Untersuchung festgestellt
- Absehbare Veränderung der Medikation im Studienverlauf vor Studienbeginn

**Ausschlusskriterien für Patienten und Kontrollpersonen**

- Andere Erkrankung des ZNS (z.B. Demenz, Schlaganfall)
- Körperliche, geistige oder seelische Gebrechen, die eine regelmäßige und kooperative Teilnahme an den Trainingsmaßnahmen und Untersuchungen beeinträchtigen (z.B. ausgeprägte Arthrose, Demenz, ausgeprägte Depression)
- Aktueller Trainingsstatus: Mehr als 1x/Woche Nordic Walking oder andere Ausdauersportarten (z.B. Schwimmen, Radfahrtraining, Joggen)

Bemerkungen:

---

---

---

**Probandenaufklärung**

Der Proband wurde über Wesen, Bedeutung und Tragweite dieser Untersuchung aufgeklärt (gem. AMG §§ 40, 41); die Probanden-Information wurde ausgehändigt, und der Proband hat seine freiwillige Teilnahme erklärt.

JA ☐ NEIN ☐

Die schriftliche Einwilligungserklärung erfolgte am:

\_\_ \_\_ . \_\_ \_\_ . \_\_ \_\_ \_\_ \_\_

Kopie der unterschriebenen Erklärung ausgehändigt.

JA ☐ NEIN ☐

**A Klinische Anfangsuntersuchung****Anthropometrische Daten**

Körpergröße:    ┐┐┐┐ cm

Körpergewicht   ┐┐┐┐ , ┐ kg

Bemerkungen

---



---



---

Bestehen Vorerkrankungen?

JA ☐NEIN ☐

Falls JA:

Vorerkrankung	Therapie	Zeitpunkt

Nehmen Sie zurzeit Medikamente ein? JA ☐NEIN ☐

Falls JA:

Handelsname / Substanzgruppe	Erkrankung	seit (Monat / Jahr)	bei Bedarf	ständig
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Parkinsonpatienten:**

Bisher hauptsächlich betroffene Körperseite?

links ☐rechts ☐

Wurden seit dem Bestehen der Beschwerden außer der medikamentösen andere Therapiemaßnahmen angewandt?

JA ☐NEIN ☐

Falls JA:

Behandlung	Art und Dauer der Behandlung
Physiotherapeutisch	
Sporttherapeutisch	

Bestehen irgendwelche Begleiterkrankungen? JA ☐ NEIN ☐

Wenn JA, welche?

---



---



---



---

**A Fragebögen**UPDRS durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐Körperliche Aktivität Fragebogen durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐Datum:  .  . **A Bewegungsanalyse**Bewegungsanalyse durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐Datum:  .  . 

Bemerkungen:

---



---

UntersuchungsleiterIn:

**A Isokinetische Kraftmessung**Kraftmessung durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Bemerkungen:

UntersuchungsleiterIn: \_\_\_\_\_

**A Leistungsdiagnostik**Echokardiographie durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐Spiroergometrie durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Bemerkungen:

UntersuchungsleiterIn: \_\_\_\_\_

**A Prüfliste**

- Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien geprüft ☐
- Probandenaufklärung durchgeführt ☐
- Probandeninformation und Kopie der Einwilligungs-  
Erklärung ausgehändigt ☐
- Neurologische Untersuchung durchgeführt ☐
- UPDRS erhoben ☐
- Körperliche Aktivitätsfragebogen erhoben ☐
- Bewegungsanalyse durchgeführt ☐
- Isokinetische Kraftmessung durchgeführt ☐
- Echokardiographie durchgeführt ☐
- Leistungsdiagnose durchgeführt ☐
- Trainings- und Messterminplan ausgehändigt ☐
- Pedometer, Pedometer- und Trainingstagebuch ausgehändigt ☐

Daten vollständig und korrekt erhoben: \_\_. \_\_. \_\_

**E Fragebögen**

UPDRS durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐  
Körperliche Aktivität Fragebogen durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

**E Bewegungsanalyse**

Bewegungsanalyse durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Bemerkungen:

\_\_\_\_\_

UntersuchungsleiterIn: \_\_\_\_\_

**E Isokinetische Kraftmessung**

Kraftmessung durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Bemerkungen:

\_\_\_\_\_

UntersuchungsleiterIn: \_\_\_\_\_

**E Leistungsdiagnostik**

Spiroergometrie durchgeführt? JA ☐ NEIN ☐

Datum: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

Bemerkungen:

\_\_\_\_\_

UntersuchungsleiterIn: \_\_\_\_\_

**E Prüfliste**

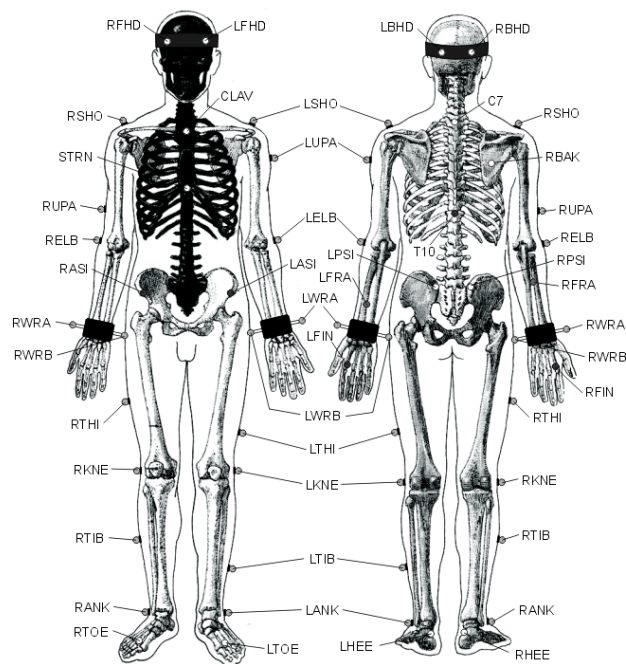
- Neurologische Untersuchung durchgeführt ☐
- UPDRS erhoben ☐
- Körperliche Aktivitätsfragebogen erhoben ☐
- Bewegungsanalyse durchgeführt ☐
- Isokinetische Kraftmessung durchgeführt ☐
- Leistungsdiagnose durchgeführt ☐
- Pedometertagebuch eingesammelt ☐
- Trainingstagebuch eingesammelt ☐

Daten vollständig und korrekt erhoben: ☐ ☐ . ☐ ☐ . ☐ ☐ \_\_\_\_\_



# B Anhang Plug-in-Gait Markerset

Plug-in-Gait Marker Placement



The following describes in detail where the Plug-in-Gait markers should be placed on the subject. Where left side markers only are listed, the positioning is identical for the right side.

## Upper Body

### Head Markers

LFHD	Left front head	Located approximately over the left temple
RFHD	Right front head	Located approximately over the right temple
LBHD	Left back head	Placed on the back of the head, roughly in a horizontal plane of the front head markers
RBHD	Right back head	Placed on the back of the head, roughly in a horizontal plane of the front head markers

The markers over the temples define the origin, and the scale of the head. The rear markers define its orientation. If they cannot be placed level with the front markers, and the head is level in the static trial, tick the "Head Level" check box under options on "Run static model" in the pipeline when processing the static trial. Many users buy a headband and permanently attach markers to it.

### Torso Markers

C7	7 <sup>th</sup> Cervical Vertebrae	Spinous process of the 7th cervical vertebrae
T10	10 <sup>th</sup> Thoracic Vertebrae	Spinous Process of the 10th thoracic vertebrae
CLAV	Clavicle	Jugular Notch where the clavicles meet the sternum
STRN	Sternum	Xiphoid process of the Sternum
RBAK	Right Back	Placed in the middle of the right scapula. This marker has no symmetrical marker on the left side. This asymmetry helps the auto-labeling routine determine right from left on the subject.

C7, T10, CLAV, STRN define a plane hence their lateral positioning is most important.

### Arm Markers

LSHO	Left shoulder marker	Placed on the Acromio-clavicular joint
LUPA	Left upper arm marker	Placed on the upper arm between the elbow and shoulder markers. Should be placed asymmetrically with RUPA
LELB	Left elbow	Placed on lateral epicondyle approximating elbow joint axis
LFRA	Left forearm marker	Placed on the lower arm between the wrist and elbow markers. Should be placed asymmetrically with RFRA
LWRA	Left wrist marker A	Left wrist bar thumb side
LWRB	Left wrist marker B	Left wrist bar pinkie side

The wrist markers are placed at the ends of a bar attached symmetrically with a wristband on the posterior of the wrist, as close to the wrist joint center as possible.

LFIN	Left fingers	Actually placed on the dorsum of the hand just below the head of the second metacarpal
------	--------------	--

## Lower Body

### **Pelvis**

LASI	Left ASIS	Placed directly over the left anterior superior iliac spine
RASI	Right ASIS	Placed directly over the right anterior superior iliac spine

The above markers may need to be placed medially to the ASIS to get the marker to the correct position due to the curvature of the abdomen. In some patients, especially those who are obese, the markers either can't be placed exactly anterior to the ASIS, or are invisible in this position to cameras. In these cases, move each marker laterally by an equal amount, along the ASIS-ASIS axis. The true inter-ASIS Distance must then be recorded and entered on the subject parameters form. These markers, together with the sacral marker or LPSI and RPSI markers, define the pelvic axes.

LPSI	Left PSIS	Placed directly over the left posterior superior iliac spine
RPSI	Right PSIS	Placed directly over the right posterior superior iliac spine

LPSI and RPSI markers are placed on the slight bony prominences that can be felt immediately below the dimples (sacro-iliac joints), at the point where the spine joins the pelvis.

SACR	Sacral wand marker	Placed on the skin mid-way between the posterior superior iliac spines (PSIS). An alternative to LPSI and RPSI.
------	--------------------	---

**SACR may be used as an alternative to the LPSI and RPSI markers** to overcome the problem of losing visibility of the sacral marker (if this occurs), the standard marker kit contains a base plate and selection of short "sticks" or "wands" to allow the marker to be extended away from the body, if necessary. In this case it must be positioned to lie in the plane formed by the ASIS and PSIS points.

### **Leg Markers**

LKNE	Left knee	Placed on the lateral epicondyle of the left knee
------	-----------	---

To locate the "precise" point for the knee marker placement, passively flex and extend the knee a little while watching the skin surface on the lateral aspect of the knee joint. Identify where knee joint axis passes through the lateral side of the knee by finding the lateral skin surface that comes closest to remaining fixed in the thigh. This landmark should also be the point about which the lower leg appears to rotate. Mark this point with a pen. With an adult patient standing, this pen

mark should be about 1.5 cm above the joint line, mid-way between the front and back of the joint. Attach the marker at this point.

LTHI	Left thigh	Place the marker over the lower lateral 1/3 surface of the thigh, just below the swing of the hand, although the height is not critical.
------	------------	--

The thigh markers are used to calculate the knee flexion axis location and orientation. Place the marker over the lower lateral 1/3 surface of the thigh, just below the swing of the hand, although the height is not critical. The antero-posterior placement of the marker is critical for correct alignment of the knee flexion axis. Try to keep the thigh marker off the belly of the muscle, but place the thigh marker at least two marker diameters proximal of the knee marker. Adjust the position of the marker so that it is aligned in the plane that contains the hip and knee joint centers and the knee flexion/extension axis. There is also another method that uses a mirror to align this marker, allowing the operator to better judge the positioning.

LANK	Left ankle	Placed on the lateral malleolus along an imaginary line that passes through the transmalleolar axis
LTIB	Left tibial wand marker	Similar to the thigh markers, these are placed over the lower 1/3 of the shank to determine the alignment of the ankle flexion axis

The tibial marker should lie in the plane that contains the knee and ankle joint centers and the ankle flexion/extension axis. In a normal subject the ankle joint axis, between the medial and lateral malleoli, is externally rotated by between 5 and 15 degrees with respect to the knee flexion axis. The placements of the shank markers should reflect this.

#### **Foot Markers**

LTOE	Left toe	Placed over the second metatarsal head, on the mid-foot side of the equinus break between fore-foot and mid-foot
LHEE	Left heel	Placed on the calcaneus at the same height above the plantar surface of the foot as the toe marker

## C Anhang UPDRS

<b>UPDRS</b>
<b>III. Motorische Untersuchung</b>
18. Sprache
<ul style="list-style-type: none"><li>• 0. Normal</li><li>• 1. Leichte Abnahme von Ausdruck, Diktion und/oder Volumen</li><li>• 2. Monoton, verwaschen, aber verständlich; mäßig behindert</li><li>• 3. Deutliche Beeinträchtigung, schwer zu verstehen</li><li>• 4. Unverständlich</li></ul>
19. Gesichtsausdruck
<ul style="list-style-type: none"><li>• 0. Normal</li><li>• 1. Minimal veränderte Mimik, könnte ein normales "Poker Gesicht" sein</li><li>• 2. Leichte, aber eindeutig abnorme Verminderung des Gesichtsausdruckes</li><li>• 3. Mäßig verminderte Mimik; Lippen zeitweise geöffnet</li><li>• 4. Maskenhaftes oder erstarrtes Gesicht mit stark oder völlig fehlendem Ausdruck; Lippen stehen um 7 mm auseinander</li></ul>
20. Ruhetremor (jeweils für Gesicht, rechte Hand, linke Hand, rechten Fuß und den linken Fuß ermitteln)
<ul style="list-style-type: none"><li>• 0. Keine</li><li>• 1. Leicht und selten vorhanden</li><li>• 2. Geringe Amplitude persistierend; oder mäßige Amplitude, aber nur intermittierend auftretend</li><li>• 3. Mäßige Amplitude, die meiste Zeit vorhanden</li><li>• 4. Ausgeprägte Amplitude, die meiste Zeit vorhanden</li></ul>
21. Aktions- oder Haltungstremor der Hände (separat für rechts und links erheben)
<ul style="list-style-type: none"><li>• 0. Fehlt</li><li>• 1. Leicht; bei Bewegung vorhanden</li><li>• 2. Mäßige Amplitude, bei Bewegung vorhanden</li><li>• 3. Mäßige Amplitude, bei Beibehalten der Haltung und bei Bewegung vorhanden</li><li>• 4. Ausgeprägte Amplitude; beim Essen störend</li></ul>

**22. Rigidität** (Geprüft bei passiver Bewegung der großen Gelenke am sitzenden Patienten.

Zahnradphänomen kann ignoriert werden. Es werden jeweils Nacken, rechte obere Extremität, linke obere Extremität, rechte untere Extremität, linke untere Extremität untersucht)

- 0. Fehlt
- 1. Leicht oder nur erkennbar bei Aktivierung durch spiegelbildliche oder andere Bewegungen
- 2. Leicht bis mäßig
- 3. Ausgeprägt, jedoch voller Bewegungsumfang bleibt erreicht
- 4. Stark; Schwierigkeit beim Ausführen aller Bewegungen

**23. Fingerklopfen**

(Patient berührt in rascher Reihenfolge und bei größtmöglicher Amplitude und mit jeder Hand gesondert den Daumen mit dem Zeigefinger. Prüfung jeweils rechts und links).

- 0. Normal
- 1. Leichte Verlangsamung und/oder Verringerung der Amplitude
- 2. Mäßig eingeschränkt. Eindeutige und frühzeitige Ermüdung. Bewegung kann gelegentlich unterbrochen werden
- 3. Stark eingeschränkt. Verzögerter Start der Bewegungen oder Unterbrechung fortlaufender Bewegungen
- 4. Kann die Aufgabe kaum ausführen

**24. Handbewegungen**

(Patient öffnet und schließt die Hände in rascher Reihenfolge bei größtmöglicher Amplitude und mit jeder Hand gesondert. Jeweils rechts und links ermitteln).

- 0. Normal
- 1. Leichte Verlangsamung und/oder Verringerung der Amplitude
- 2. Mäßig eingeschränkt. Eindeutige und frühzeitige Ermüdung. Bewegung kann gelegentlich unterbrochen werden
- 3. Stark eingeschränkt. Verzögerter Start der Bewegungen oder Unterbrechung fortlaufender Bewegungen
- 4. Kann die Aufgabe kaum ausführen

**25. Rasch wechselnde Bewegungen der Hände**

(Pronation-Supinationsbewegungen der Hände, vertikal oder horizontal, mit größtmöglicher Amplitude, beide Hände gleichzeitig. Wird für jede Hand einzeln beurteilt.)

- 0. Normal
- 1. Leichte Verlangsamung und/oder Verringerung der Amplitude
- 2. Mäßig eingeschränkt. Eindeutige und frühzeitige Ermüdung. Bewegung kann gelegentlich unterbrochen werden
- 3. Stark eingeschränkt. Verzögerter Start der Bewegungen oder Unterbrechung fortlaufender Bewegungen
- 4. Kann die Aufgabe kaum ausführen

**26. Agilität der Beine**

(Der Patient klopft in rascher Reihenfolge mit der Ferse auf den Boden und hebt dabei das ganze Bein an. Die Amplitude soll mindestens 7,5 cm betragen.)

- 0. Normal
- 1. Leichte Verlangsamung und/oder Verringerung der Amplitude
- 2. Mäßig eingeschränkt. Eindeutige und frühzeitige Ermüdung. Bewegung kann gelegentlich unterbrochen werden
- 3. Stark eingeschränkt. Verzögerter Start der Bewegungen oder Unterbrechung fortlaufender Bewegungen
- 4. Kann die Aufgabe kaum ausführen

**27. Aufstehen vom Stuhl**

(Patient versucht mit vor der Brust verschränkten Armen von einem geradelehnigen Holz- oder Metallstuhl aufzustehen).

- 0. Normal
- 1. Langsam; kann mehr als einen Versuch benötigen
- 2. Stößt sich an den Armlehnen hoch
- 3. Neigt zum Zurückfallen und muss es eventuell mehrmals versuchen, kann jedoch ohne Hilfe aufstehen
- 4. Kann ohne Hilfe nicht aufstehen

## 28. Haltung

- 0. Normal aufrecht
- 1. Nicht ganz aufrecht, leicht vorgebeugte Haltung; könnte bei einem älteren Menschen normal sein
- 2. Mäßig vorgebeugte Haltung; eindeutig abnorm, kann leicht zu einer Seite geneigt sein
- 3. Stark vorgebeugte Haltung mit Kyphose; kann mäßig zu einer Seite geneigt sein
- 4. Ausgeprägte Beugung mit extrem abnormer Haltung

## 29. Gang

- 0. Normal
- 1. Geht langsam, kann einige kurze Schritte schlurfen, jedoch keine Festination oder Propulsion
- 2. Gehen schwierig, benötigt aber wenig oder keine Hilfe; eventuell leichtes Trippeln, kurze Schritte oder Propulsion
- 3. Starke Gehstörung, benötigt Hilfe
- 4. Kann überhaupt nicht gehen, auch nicht mit Hilfe

## 30. Haltungsstabilität

(Reaktion auf plötzliches Verlagern nach hinten durch Ziehen an den Schultern des Patienten; der mit geöffneten Augen und leicht auseinanderstehenden Füßen geradesteht. Der Patient ist darauf vorbereitet).

- 0. Normal
- 1. Retropulsion, gleicht aber ohne Hilfe aus
- 2. Fehlen einer Haltungsreaktion; würde fallen, wenn er nicht vom Untersucher aufgefangen würde
- 3. Sehr instabil; neigt dazu, spontan das Gleichgewicht zu verlieren
- 4. Kann nicht ohne Unterstützung stehen

## 31. Bradykinesie und Hypokinesie des Körpers

(Kombination aus Langsamkeit, Zögern, verminderten Mitbewegungen der Arme, geringe Bewegungsamplitude und allgemeine Bewegungsarmut)

- 0. Keine
- 1. Minimale Verlangsamung, Bewegung wirkt beabsichtigt; könnte bei manchen Menschen normal sein. Möglicherweise herabgesetzte Amplitude
- 2. Leichte Verlangsamung und Bewegungsarmut, die eindeutig abnorm sind. Alternativ auch herabgesetzte Amplitude
- 3. Mäßige Verlangsamung und Bewegungsarmut oder Herabsetzung der Amplitude
- 4. Ausgeprägte Verlangsamung, Bewegungsarmut oder Herabsetzung der Amplitude



# Danksagung

Ausgesprochen dankbar bin ich Herrn Prof. Dr. Ewald Hennig, für seine wertvolle und konstruktive Betreuung der Arbeit. Sein stets promptes kollegiales und engagiertes Feedback hat mich motivational stets beflügelt.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herr Prof. Dr. Stefan Grau bedanken, der es mir überhaupt erst ermöglichte, im Rahmen seiner Arbeitsgruppe diese Studie und Arbeit entstehen zu lassen. Sein Vertrauen und seine emotionale Unterstützung haben mich stets gestärkt. Auch möchte ich ihm für seine Geduld und für seine wertvolle Betreuung der Arbeit danken.

Stets freundschaftliche und hilfreiche Ansprechpartner fand ich bei meinen Kollegen und Kolleginnen der Arbeitsgruppe, denen ich besonders für ihren tatkräftigen Beistand in der methodischen Durchführung der Studie danken möchte. Ganz besonders danke ich Herrn Clemens Plank, der mich in die LaTeX-Welt einführte und stets spontan hilfsbereit beistand. Ebenso dankbar bin ich für die sehr angenehme Zusammenarbeit mit meinem Studienteam Frau Katharina Kaleadis, Frau Bettina Fritz und Herr Dennis Maier. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Andreas Niess und seinem Internisten- und Arbeitsteam für ihre freundliche Unterstützung bei der Durchführung der spiroergometrischen Untersuchungen und deren Befundung.

Ebenfalls dankbar bin ich Frau Prof. Dr. Daniela Berg und ihrem Studienteam Frau Dr. Jana Godau, Frau Manon Herfurth und Frau Barbara Kattner für ihre freundliche Zusammenarbeit und neurologische Betreuung der Probanden. Außerdem bedanke ich mich bei Dr. Winfried Ilg für seine freundliche Unterstützung zur 3D Kinematik Analyse.

Für die umfassende freundliche statistische Beratung und den immer wiederkehrenden hilfreichen Diskussionen möchte ich mich bei Herrn Dr. Detlef Axmann bedanken. Er hat maßgeblich dazu beigetragen, mein statistisches Verständnis zu vertiefen und dies stets von Neuem zu hinterfragen.

Überaus dankbar bin ich meinen ausgesprochen zuvorkommenden Probanden, die mir stets mit viel Wohlwollen und Verlässlichkeit begegneten, was die Durchführung des Trainings und der Untersuchungen mit viel Freude bestückte.

Für das geduldige Korrekturlesen der Arbeit bedanke ich mich herzlich bei meiner stets zuverlässigen und Rücken stärkenden Zwillingschwester Lucia Rombach und meiner ebenso sehr hilfsbereiten Kollegin Dr. Anusch Arezki.

Mein größter Dank gilt meiner großartigen Familie, besonders meinen beiden Kindern, die mich bei der Verschriftung der Arbeit intensiv begleitet und entbehrt haben, sowie meinem Mann für sein Verständnis und seine Geduld.